МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «ВЕЛИКОЛУКСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАКТОРОВ И АВТОМОБИЛЕЙ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия»

Великие Луки

2011

УДК 629.113/.115 (О75)
ББК 39.33/.34я7
Э45

Электрооборудование тракторов и автомобилей: учебное пособие / сост. В.В. Морозов, Д.В. Гуляев, А.Н. Павлов – Великие Луки: редакционно-издательский центр ВГСХА, 2011. – 226 с.: ил.

Рецензенты:
А.Г. Никифоров – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой механизации ФГОУ ВПО «Смоленской ГСХА;
А.В. Николаев – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Трактора и автомобили» ФГОУ ВПО «Тверской ГСХА»;
А.В. Виноградов – кандидат технических наук, доцент «Трактора и автомобили» ФГОУ ВПО «Тверской ГСХА»;

Редактор Н.С. Копаева

В учебном пособии изложены основные сведения о конструкции электрического оборудования, рассмотрены основные аппараты, системы и принципы работы основных изделий автотракторного электрооборудования.

Учебное пособие предназначено для освоения материала дисциплины «Тракторы и автомобили» по разделу «Электрооборудование тракторов и автомобилей» студентами, обучающимися по направлению «Агроинженерия». Книга будет интересна и полезна для преподавателей и учащихся средних профессиональных учебных заведений сельскохозяйственного профиля, а также для работников автотранспортных предприятий.

ISBN 978-5-8047-0096-7

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие по электрооборудованию тракторов и автомобилей написано в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта подготовки по направлению 660300 – “Агроинженерия”. Выпускник по данной специальности должен знать назначение, устройство и конструктивные особенности, принципы работы и регулировочные параметры электрооборудования тракторов и автомобилей, владеть навыками регулирования и технического обслуживания их механизмов и систем.

В данном пособии в десяти разделах изложены основные сведения об автотракторном электрооборудовании; назначение, устройство и принцип работы стартерных аккумуляторных батарей; назначение, устройство и принцип работы автотракторных генераторных установок; назначение, устройство и принцип работы реле-регуляторов; назначение, устройство и принцип работы электрических стартеров; назначение, устройство и принцип работы различных систем зажигания; назначение, устройство и принцип работы аппаратов систем зажигания; назначение, устройство и принцип работы свечей зажигания и высоковольтных проводов; назначение, устройство и принцип работы систем звуковой и световой сигнализации; назначение, устройство и принцип работы информационно-измерительной системы тракторов и автомобилей.

Объем каждого раздела определялся исходя из выделяемого программой дисциплины времени с учетом использования технических средств обучения для представления изделий электрооборудования тракторов и автомобилей.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия», может быть полезно для преподавателей и учащихся средних профессиональных учебных заведений сельскохозяйственного профиля, а также для работников автотранспортных предприятий и автолюбителей.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИИ

1.1. НАЗНАЧЕНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрооборудование автомобиля обеспечивает надежное функционирование силовой установки, трансмиссии и ходовой части, безопасность движения, автоматизацию рабочих процессов и нормальные условия труда водителя.

Число изделий электрического и электронного оборудования на автомобилях постоянно возрастает. Пуск двигателя, зажигание рабочей смеси в цилиндрах двигателя, освещение дороги ночью, осуществление контроля работы отдельных агрегатов и узлов, а также автомобиля в целом, создание комфортных условий для пассажиров – все это функции электрического и электронного оборудования.

Применение электронных элементов для регулирования работы двигателя позволяет обеспечить экономию топлива, осуществить текущее диагностирование, снизить токсичность отработавших газов, оптимизировать работу системы охлаждения, объединить системы топливоподачи и зажигания в одну.

Использование микропроцессоров и микроЭВМ в системах автомобильного электрооборудования привело к его значительному усложнению. Согласно статистическим данным на долю электрооборудования приходится от 15 до 40 % неисправностей автомобиля, возникающих в эксплуатации. Своевременно проведенные техническое обслуживание и диагностирование наряду с совершенствованием конструкции и качества изготовления изделий автомобильного электрооборудования способствуют снижению доли их отказов.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И СОСТАВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Электрооборудование автомобилей и тракторов представляет собой определенный комплекс взаимосвязанных электрических и электронных устройств. Автотракторное электрооборудование включает следующие системы и устройства:

- электроснабжения;
- электростартерного пуска двигателя;
- зажигания;
- освещения, световой и звуковой сигнализации;
- информации и контроля технического состояния автомобиля, трактора и их агрегатов;
- электропривода;
- подавления радиопомех;
- электронного управления агрегатами автомобиля и трактора.

В систему электроснабжения входят генераторная установка и аккумуляторная батарея.

К системе электростартерного пуска двигателя относят аккумуляторную батарею, электрический стартер, реле управления (дополнительные реле и реле блокировки) и электротехнические устройства облегчения пуска двигателя.

Система зажигания обеспечивает принудительное воспламенение рабочей смеси в цилиндрах двигателей искрой высокого напряжения, возникающей между электродами свечи зажигания. Помимо свечей к системе зажигания относятся катушка зажигания, прерыватель-распределитель, транзисторный коммутатор, электронный блок управления (контроллер), добавочный резистор, высоковольтные провода, наконечники свечей и т.д.

Система освещения и световой сигнализации объединяет осветительные приборы (фары головного освещения, рабочего освещения), светосигнальные фонари (габаритные огни, указатели поворота, сигнал торможения, фонари заднего хода и др.) и различные реле управления ими.

Система информации и контроля технического состояния автомобиля, трактора и их агрегатов включает в себя датчики и

указатели давления, температуры, уровня топлива в баке, спидометр, тахометр, сигнальные (контрольные) лампы и т.д. На автомобиле может быть установлена бортовая система контроля с компьютером.

Электропривод (электродвигатели, моторедукторы, мотонасосы, электромагниты) находит все большее применение в системах стеклоочистки, отопления, вентиляции, предпускового подогрева двигателя, в стеклоподъемниках, в системах подъема и опускания антенны, блокировки дверей, в исполнительных механизмах электронных систем.

Для подавления радиопомех используются разнообразная коммутационная и защитная аппаратура, выключатели, переключатели, реле различного назначения, контакторы, предохранители и блоки предохранителей, соединительные панели и разъемные соединения.

Расширяется применение электронных систем впрыскивания топлива, антиблокировочных, противобуксовочных и навигационных систем, систем предотвращения столкновений.

Число и мощность потребителей электроэнергии на автомобилях и тракторах постоянно увеличиваются, соответственно возрастает мощность источников электрической энергии. На смену устаревшему электрооборудованию приходят новые, более сложные по конструкции и схемным решениям электрические и электронные изделия и системы.

От совершенства конструкции и технического состояния электрооборудования зависят эксплуатационная надежность и производительность автомобиля и трактора.

1.3. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Условия работы электрооборудования на автомобилях зависят от климатической зоны эксплуатации и места установки отдельных изделий на автомобиле. Изделия электрооборудования выпускаются в климатических исполнениях: **У** (для умеренного климата), **ХЛ** (для холодного климата), **Т** (для тропического климата), **О** (общеклиматическое исполнение).

Исполнения типа **У-ХЛ**, **У-Т** и т.д. предусматривают возможность эксплуатации электрооборудования в нескольких климатических районах.

В зависимости от климатического исполнения электрооборудование автомобилей должно быть работоспособным в условиях, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Условия эксплуатации изделий электрооборудования

Температурные и атмосферные условия	**Климатическое исполнение**		
	У	**ХЛ**	**Т**
Максимальная температура окружающей среды, °С, для изделий, устанавливаемых: на двигателе в моторном отсеке в кабине или снаружи	70 55/65	80, 90 55/65	100* 55/65
Минимальная температура окружающей среды, °С, для изделий, устанавливаемых: снаружи или в кабине, а также для тех, которые должны работать до предпускового подогрева на двигателе и в моторном отсеке и включаемых только после предпускового подогрева	–45 (–40)**/ –50 –40	–60 (–55)**/ –60 –40	–20/–45 –20
Относительная влажность воздуха для всех изделий при температуре (40±2) %	95±3	95±3	95±3
Минимальное давление окружающей среды для всех изделий, кПа (на высоте 4000 м над уровнем моря)	61	61	61

*Температура для изделий выбирается из приведенного ряда и устанавливается в стандартах или технических условиях на изделия.

**В скобках указана температура для изделий, разработанных до 09.01.88 г.

Примечание. В числителе приведены рабочие температуры, в знаменателе – предельные.

Кроме того, изделия электрооборудования должны сохранять работоспособность после воздействия температур –60 °С для исполнения **ХЛ**, –50 °С для исполнения **У** и –45 °С для исполнения **Т** (во время транспортирования и нерабочих периодов транспортных средств).

Изделия электрооборудования должны выдерживать также значительные вибрационные и ударные нагрузки, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Допустимые вибрационные и ударные нагрузки для изделий автотракторного электрооборудования

Изделия	**Частота вибрации, Гц, при испытаниях**		**Максимальное ускорение (или замедление), м/с$^{-2}$**	**Продолжительность испытаний, ч**
	периодических	**типовых**		
Устанавливаемые на двигателе	50	50–250	100/150	8/10000
Остальные	50	50–250	50/100	8/10000
Примечание. В числителе приведены данные для вибрационной нагрузки, в знаменателе – для ударной.				

Допустимые значения превышения температуры для электрических машин и аппаратов длительного режима работы при температуре окружающей среды +70 °С приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Допустимые превышения температуры электрических машин и аппаратов длительного режима работы

Части электрических машин и аппаратов	**Допустимые превышения температуры, °С, для классов изоляционных материалов по ГОСТ 8865-93**				
	А	**Е**	**В**	**Г**	**Н**
Обмотки генераторов и электродвигателей	---	---	125	140	---
Коллекторы и контактные кольца	100	115	145	155	160
Обмотки реле различного назначения	---	---	130	145	---

Изделия автомобильного электрооборудования должны быть защищены от проникновения посторонних тел, пыли, брызг, воды, обеспечивать надежную и безотказную работу в эксплуатации в течение требуемого срока службы. Ресурс изделий электрооборудования измеряется числом часов работы двигателя или числом включений, а также пробегом автомобиля в километрах. Защита от коррозии должна осуществляться лакокрасочными, гальваническими, химическими покрытиями или их сочетаниями.

Изделия электрооборудования должны быть совместимы между собой и внешней средой и должны сохранять работоспособность в условиях электромагнитного воздействия в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Параметры импульсных напряжений бортовой сети в аномальных и нормальных режимах эксплуатации

Номинальное напряжение, В	**Уровень напряжения (мгновенные значения), В, не более, при длительности на этом уровне**				
	$0{,}3 \cdot 10^{-3}$ мкс	**$10 \cdot 10^{-3}$ мкс**	**0,3 мс**	**10 мс**	**300 мс**
Аномальные режимы эксплуатации					
14 (12) 28 (24)	150/–20 150/–56	112/–28 112/–56	62/0 84/0	42/3 58/7	21/6 42/14
Нормальные режимы эксплуатации					
14 (12) 28 (24)	42/6 56/14	42/6 56/14	28/6 56/14	23/8 45/15,5	17,5/10,5 35/21
Примечание. В числителе указаны максимальные значения, в знаменателе – минимальные.					

Изделия электрооборудования могут быть рассчитаны на продолжительный номинальный режим работы, кратковременный номинальный режим работы с длительностью периода неизменной номинальной нагрузки 5, 10 и 30 мин и повторно-кратковременный номинальный режим с продолжительностью включения нагрузки 15, 25, 40 и 60 %.

Изоляция обмоток и токоведущих деталей изделий электрооборудования относительно корпуса должна выдерживать без повреждений в течение одной минуты воздействие синусоидального переменного напряжения частотой 50 Гц, действующие значения которого указаны в таблице 5.

Таблица 5 – Электрическая стойкость изоляции

Детали изделий	**Действующее напряжение, В**
1	2
1. Обмотки электрических машин и аппаратов, токоведущих деталей этих изделий, обмотки контрольно-измерительных приборов и их датчиков, токоведущие детали коммутационной аппаратуры, работающие в главных цепях или цепях, содержащих индуктивность, элементы цепей низкого напряжения аппаратов зажигания, звуковых сигналов	550

Продолжение таблицы 5

1	2
2. Обмотки и токоведущие детали электродвигателей с электромагнитным возбуждением	250
3. Токоведущие детали коммутационной аппаратуры (за исключением указанных в п. 1), установочных изделий, осветительных и светосигнальных приборов	220
4. Токоведущие детали и элементы цепей высокого напряжения аппаратов зажигания	22000

Электрические машины должны выдерживать испытание на повышенную частоту вращения коленчатого вала в режиме холостого хода в течение 20 с (стартеры и другие электрические машины с режимом работы менее одной минуты), двух минут (остальные электрические машины). Испытательная частота вращения коленчатого вала должна быть на 20 % выше частоты вращения коленчатого вала в режиме холостого хода для стартера.

Степень искрения (класс коммутации) по шкале ГОСТ 183–74 должна быть не более 1,5 для электрических машин продолжительного режима работы, не более 2 для электрических машин повторно-кратковременного, перемежающегося и кратковременного режимов работы (продолжительностью пять минут и более) и не более 3 для электрических машин кратковременного режима работы продолжительностью три минуты и менее.

Изделия автотракторного электрооборудования должны работать в однопроводной схеме, в которой с корпусом автомобиля или трактора соединен отрицательный полюс системы. Допускается изготовление изделий, у которых от корпуса изолированы оба полюса.

Уровень радиопомех изделий электрооборудования, автоэлектроники и приборов не должен превышать значений, предусмотренных ГОСТ Р 51318.12–99. Для удовлетворения этих требований изделия электрооборудования и автоэлектроники имеют следующие исполнения: неэкранированное; с частичным экранированием; экранированное.

Для снижения уровня радиопомех применяются помехоподавляющие устройства:

1) неэкранированные или экранированные наконечники искровых свечей зажигания;

2) высоковольтные провода с распределенным сопротивлением;

3) фильтры радиопомех;

4) помехоподавительные резисторы в роторах распределителей или в искровых свечах зажигания.

Направление вращения валов изделий электрооборудования определяется следующим образом:

- электрические машины с одним свободным концом вала (генераторы, стартеры, электродвигатели), магнето, датчики дистанционных спидометров и тахомотосчетчиков – со стороны привода;
- спидометры – со стороны шкалы;
- электрические машины с двумя свободными концами вала и остальные приборы – со стороны, указанной изготовителем.

1.4. НОМИНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Номинальные параметры изделий автомобильного электрооборудования (номинальная мощность, номинальная сила тока, номинальное напряжение и др.) относятся к работе при температуре (25±10) °С, относительной влажности 45 – 80 % и давлении 86,6 – 106,6 кПа (650 – 800 мм рт.ст.). В условиях, отличающихся от указанных, номинальные параметры могут быть изменены на величину, оговоренную в стандартах на отдельные виды изделий. Все номинальные параметры измеряются при номинальном напряжении.

Номинальное напряжение системы электрооборудования автомобиля должно быть равно 12 или 24 В. Номинальное напряжение потребителей электроэнергии – 12 или 24 В, а источников (генераторных установок) – 14 и 28 В.

Потребители электроэнергии, работающие при движении, должны быть работоспособными при изменении подводимого напряжения в пределах от 90 до 125 % установленного для них номинального напряжения.

1.5. СИСТЕМЫ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025.215 – 99 для изделий автотракторного электрооборудования используется цифровое обозначение – 0000.0000, где первые два знака обозначают порядковый номер модели (первая модель – 11, вторая модель – 12 и т.д.), третий знак – модификации изделий, четвертый исполнение (таблица 6), четыре знака после точки указывают на номер типовой подгруппы (таблица 7).

Пример. 111.3711 – первая модель, первая модификация фары рабочего освещения.

Таблица 6 – Обозначение исполнения изделия

Цифровой код обозначения	**Исполнение**
0001.0000	Для холодного климата
0002.0000	Общеклиматическое исполнение
0003.0000	Для умеренной климатической зоны
0006.0000	Экспортное исполнение
0007.0000	Тропическое исполнение
0008.0000	Для изделий, предназначенных на экспорт в страны с холодным климатом
0009.0000	Для изделий общеклиматического исполнения, предназначенных на экспорт

Таблица 7 – Обозначение типовых подгрупп изделий электрооборудования, применяемых на автомобиле

Номер подгруппы	**Изделие**
1	2
3701	Генератор
3702	Реле-регулятор (регулятор напряжения)
3703	Аккумуляторная батарея
3707	Свечи и провода зажигания
3708	Стартер и выключатель стартера
3709	Переключатели
3710	Выключатели
3711	Фары
3712	Подфарники и передние указатели поворотов
3713	Патрон ламп

Продолжение таблицы 7

1	2
3714	Плафоны внутреннего освещения
3715	Лампы (переносная и подкапотная)
3716	Задние фонари (сигнальные и осветительные)
3717	Фонари освещения номерного знака
3720	Выключатели сигнала торможения
3721	Звуковые сигналы
3722	Предохранители электропроводов (панели, штепсельные розетки и т.д.)
3724	Электропровода
3726	Указатели поворотов
3730	Электродвигатели
3737	Выключатели массы
3740	Свечи накаливания
3741	Электрооборудование пусковых, подогревательных и отопительных устройств
3747	Реле различного назначения
3759	Преобразователи напряжения
3802	Спидометры
3803	Фонари контрольных ламп
3805	Щитки приборов
3806	Приемники указателей топлива
3807	Приемники указателей температуры
3808	Приемники указателей давления
3810	Приемники указателей давления масла
3811	Указатели тока
3812	Указатели напряжения
3818	Счетчики моточасов
3827	Датчики указателей уровня топлива
3828	Датчики указателей температуры
3829	Датчики указателей давления
3832	Датчики температуры блока двигателя
3839	Приборы и средства сигнализации
3844	Сигнализаторы температуры
5205	Стеклоочистители
5208	Стеклоомыватели

Контрольные вопросы

1. Назначение автотракторного электрооборудования.
2. По каким признакам классифицируется автотракторного электрооборудование?
3. Какие основные системы электрооборудования применяются на современных тракторах и автомобилях?
4. Какие основные условия эксплуатации характерны для изделий электрооборудования?
5. Какие основные технические требования предъявляются к автотракторному электрооборудованию?
6. Какие номинальные параметры имеют изделия автомобильного и тракторного электрооборудования?
7. Как маркируются изделия автотракторного электрооборудования?

2. СТАРТЕРНЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

На автомобилях и тракторах в качестве стартерных применяются свинцовые аккумуляторные батареи. Аккумуляторная батарея обеспечивает питание электростартера при пуске двигателя и других потребителей электроэнергии при неработающем генераторе или его недостаточной мощности. Электростартер является основным потребителем энергии аккумуляторной батареи. Работа в стартерном режиме определяет тип и конструкцию батарей и выделяет их в отдельный класс стартерных батарей.

Все АБ можно классифицировать по следующим основным признакам.

1) по назначению:
- для легковых автомобилей;
- для коммерческого транспорта.

2) по виду исполнения (состоянию поставки):
- сухозаряженные;
- залитые и заряженные.

3) по условиям эксплуатации:
- для обычных условий;
- для сверхтяжелых условий.

4) по режиму эксплуатации:
- батареи для работы в буферном режиме (когда батарея работает с основным источником напряжения, например сетевым блоком питания);
- батареи для работы в циклическом режиме (данный режим характерен их разрядом в течение какого-то времени и последующим зарядом);
- батареи для работы в смешанном режиме.

5) по конструктивно-функциональному признаку различают:
- обычной конструкции – в моноблоке с ячеечными крышками и межэлементными перемычками над крышками;

- в моноблоке с общей крышкой и межэлементными перемычками под крышкой;
- необслуживаемые – с общей крышкой, не требующие ухода в эксплуатации.

6) по объёму обслуживания:

- батареи с малосурьмянистыми сплавами со стандартной периодичностью обслуживания;
- батареи с кальциевыми сплавами с пониженной периодичностью обслуживания.

7) по конструкции и виду используемого электролита:

- с жидким электролитом (обслуживаемые и необслуживаемые);
- батареи с регулируемыми клапанами VLRA (с увлаженными сепараторами и с гелевым электролитом)

В настоящее время выпускаются АБ трёх поколений.

1. Батареи первого поколения – батареи с жидким электролитом открытого или закрытого типа, имеющие ёмкость от 36 до 5328 А·ч и срок службы до 10 лет. Батареи открытого типа не имеют крышек, электролит непосредственно соприкасается с открытым воздухом.

2. Батареи второго поколения, которыми являются герметизированные гелевые батареи. В них вместо жидкого электролита используется гелеобразный, представляющий собой желе, полученное в результате смешивания раствора серной кислоты с загустителем (обычно это двуокись кремния SiO_2 – силикагель.

3. Батареи третьего поколения – это герметизированные батареи с абсорбированным сепараторами электролитом. Часто их называют батареями, собранными по AGM-технологии, при которой электролит абсорбирован в сепараторах из стекловолокна, размещенных между электродами. Такой сепаратор представляет собой пористую систему, в которой капиллярные силы удерживают электролит. При этом количество электролита дозируется так, чтобы мелкие поры были заполнены, а крупные оставались свободными для свободной циркуляции выделяющихся газов.

2.2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАТАРЕЙ

Режим работы аккумуляторной батареи на автомобиле и тракторе характеризуется температурой электролита, уровнем вибрации и тряски, периодичностью, объемом и качеством технического обслуживания, параметрами стартерного разряда, силой токов и продолжительностью разряда и заряда при циклировании, уровнем надежности и исправности электрооборудования, продолжительностью работы и перерывов в эксплуатации.

Аккумуляторные батареи могут эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от –40 до +60 °С (аккумуляторные батареи группы I) и от –50 до +60 °С (батареи группы II). При этом рабочая температура электролита должна быть не выше 50 °С.

При повышении температуры электролита быстрее разрушаются электроды, ускоряется сульфатация. Для уменьшения химической активности электролита его плотность в жарких и теплых влажных климатических районах понижают до 1,25-1,27 г/см^3. Рост температуры вызывает интенсивное испарение воды из электролита. Под действием солнечных лучей и высокой температуры в батареях обычной конструкции уменьшается прочность эбонитовых моноблоков, крышек и герметизирующей мастики.

При низких температурах герметизирующая мастика теряет эластичность, растрескивается и отслаивается от поверхности крышек и моноблоков. Моноблоки, крышки и пробки становятся хрупкими. При таянии снега на поверхности батареи образуется влага. Лёд на поверхности пробок может закрыть вентиляционные отверстия. При недостаточной плотности электролита и значительной разряженности батареи возможно замерзание электролита. Поэтому батареи, эксплуатируемые при низких температурах, рекомендуется заполнять электролитом большой плотности (1,29-1,31 г/см^3) и содержать в заряженном состоянии.

Низкие температуры значительно ухудшают условия заряда аккумуляторных батарей. Уже при температуре -10 °С батарея, разряженная на 50 %, может быть заряжена только на 60-65 % номинальной емкости. В условиях зимней эксплуатации увеличивается число включенных потребителей электроэнергии

и время их работы. Резко возрастает сила тока, потребляемого электростартером. Все это затрудняет обеспечение положительного зарядного баланса батареи на автомобиле. При температуре ниже -10 °С для поддержания батареи в заряженном состоянии необходимо повышать регулируемое напряжение генераторной установки трактора. Зарядное напряжение должно соответствовать значению, указанному в техническом описании и инструкции по эксплуатации автомобиля (трактора). Максимальное регулируемое напряжение генераторной установки не должно превышать 15,5 и 31,0 В соответственно для 12- и 24-вольтных систем электрооборудования.

2.3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К АККУМУЛЯТОРНЫМ БАТАРЕЯМ

Высокая механическая прочность, достаточный срок службы, необходимая ёмкость при небольших размерах и массе, работоспособность в широком диапазоне температур и значений силы разрядного тока, небольшие потери энергии при длительном бездействии, минимальное внутреннее сопротивление и внутреннее падение напряжения при большой силе тока разряда в стартерном режиме – это полный перечень требований к стартерным аккумуляторным батареям, применяемым на транспортных средствах. Аккумуляторные батареи должны выдерживать кратковременные разряды стартерными токами большой силы без разрушения электродов и ухудшения характеристик при дальнейшей эксплуатации, а также иметь достаточный запас энергии для питания потребителей в случае выхода из строя генераторной установки и для других нужд, возникающих в аварийных ситуациях.

К аккумуляторным батареям на тракторах и автомобилях должен быть обеспечен свободный доступ для осмотра и технического обслуживания. Аккумуляторную батарею размещают ближе к стартеру для уменьшения длины стартерного провода и падения напряжения в нем. Массовый провод батареи крепят к двигателю или жесткой раме. Не допускается крепление массового провода к тонкостенной части кабины (меньше 1,2 мм) или

крылу автомобиля, а также на окрашенную поверхность без применения шайб-звездочек.

Уровень вибрации в местах установки аккумуляторных батарей не должен характеризоваться ускорением более 1,5g (ускорение 14,7 м/с^2) в диапазоне частот до 60 Гц. Допускается кратковременная вибрационная нагрузка с ускорением 49 м/с^2 (5g) при частоте до 30 Гц. При вибрации и тряске батарея не должна перемещаться по опорной площадке. Посадочные места должны иметь амортизаторы и амортизационные прокладки.

Саморазряд заряженной батареи, кроме необслуживаемой, после бездействия в течение 14 суток при температуре окружающей среды не должен превышать 10 %, а после бездействия в течение 28 суток – 20 % номинальной ёмкости. Саморазряд необслуживаемой батареи после бездействия в течение 90 суток не должен превышать 10 % номинальной ёмкости, а после бездействия в течение года – 40 %.

Минимальный срок службы аккумуляторной батареи в эксплуатации считается до момента уменьшения разрядной ёмкости ниже 40 % номинальной ёмкости или снижения продолжительности стартерного разряда до 1,5 минуты при температуре 25±2 °С до конечного разрядного напряжения 4,5 и 9,0 В соответственно для 6- и 12-вольтных батарей.

Минимальный срок службы батарей обычной конструкции и с общей крышкой в эксплуатации должен составлять один год при наработке транспортного средства в пределах этого срока не более 90 тыс. км пробега.

Минимальный срок службы необслуживаемых батарей в эксплуатации должен составлять три года при наработке транспортного средства в пределах этого срока службы не более 100 тыс. км пробега.

Гарантийный срок сохраняемости не залитых электролитом батарей – три года с момента изготовления. Гарантийный срок сохраняемости сухозаряженных батарей – один год с момента изготовления. Для необслуживаемых батарей, залитых электролитом, устанавливается срок сохраняемости два года при условии промежуточного заряда в пределах минимального срока службы.

2.4. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО СВИНЦОВОГО АККУМУЛЯТОРА

Аккумуляторные батареи являются вторичными химическими источниками тока, которые могут использоваться многократно. Активные вещества, израсходованные в процессе разряда, восстанавливаются при последующем заряде. При протекании разрядной химической реакции в аккумуляторе отрицательный электрод оксидируется, а положительный восстанавливается. При оксидировании происходит отдача электронов, при восстановлении – присоединение электронов.

В свинцовом аккумуляторе в токообразующих процессах участвуют диоксид свинца PbO_2 (окислитель) темно-коричневого цвета положительного электрода, губчатый (пористый) свинец Pb (восстановитель) темно-серого цвета на отрицательном электроде и водный раствор серной кислоты ($H_2SO_4 + H_2O$) – электролит, в котором помещены электроды. Активные вещества электродов представляют собой относительно жёсткую электронопроводящую массу с диаметром пор 1-5 мкм у диоксида свинца и 5-10 мкм у губчатого свинца. Объёмная пористость активных веществ в заряженном состоянии составляет около 50 %.

Часть серной кислоты в электролите диссоциирована на положительные ионы H^+ и отрицательные ионы кислотного остатка SO_4^{2-}. Губчатый свинец при разряде аккумулятора выделяет в электролит положительные ионы двухвалентного свинца Pb^{2+}. Избыточные ионы отрицательного электрода по внешнему участку замкнутой электрической цепи перемещаются к положительному электроду, где восстанавливают четырехвалентные ионы свинца Pb^{4+} до двухвалентного свинца Pb^{2+}. Положительные ионы свинца Pb^{2+} соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка SO_4^{2-}, образуя на обоих электродах сернокислый свинец $PbSO_4$ (сульфат свинца).

Если положительный и отрицательный электроды соединить между собой через какой-нибудь потребитель электрической энергии, то через потребитель (внешний участок цепи) и аккумулятор (внутренний участок цепи) будет протекать разрядный ток.

При подключении к зарядному устройству электроны движутся к отрицательному электроду, нейтрализуя двухвалентные ионы свинца Pb^{2+}. На электроде выделяется губчатый свинец Pb. Отдавая под влиянием напряжения внешнего источника тока по два электрона, двухвалентные ионы свинца Pb^{2+} у положительного электрода окисляются в четырехвалентные ионы Pb^{4+}. Через промежуточные реакции ионы Pb^{4+} соединяются с двумя ионами кислорода и образуют диоксид свинца PbO_2.

Химическая реакция разряда в свинцовом аккумуляторе описывается уравнением двойной сульфатации:

до разрядки *после разрядки*

$$PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb \xrightarrow{\text{разряд}} PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$$

Аналогично можно записать уравнение для заряда батареи:

до зарядки *после зарядки*

$$PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4 \xrightarrow{\text{заряд}} PbO_2 + 2H_2SO_4 + Pb$$

Содержание в электролите серной кислоты и плотность электролита уменьшаются при разряде и увеличиваются при заряде. Образование воды при разряде происходит у положительного электрода, в результате плотность электролита падает быстрее, чем у отрицательных. При заряде серная кислота образуется у положительного электрода, поэтому плотность электролита у положительного электрода растёт быстрее, чем у отрицательного. На один ампер-час электрической ёмкости расходуется: при разряде – 3,86 г свинца, 4,44 г диоксида свинца, 3,67 г серной кислоты, а при заряде – 0,762 г воды и 11,6 г сульфата свинца.

Расход кислоты у положительных электродов больше, чем у отрицательных. Если учитывать количество воды, образующейся у положительных электродов, то количество кислоты, необходимой для них в течение разряда, в 1,6 раза больше, чем для отрицательных. Это является основной причиной того, что сепаратор со стороны положительного электрода имеет желоба с целью увеличения объёма кислоты около данного электрода. При заряде происходит незначительное увеличение объёма электролита, а при разряде – уменьшение.

Степень разряженности аккумулятора по плотности его электролита находится по формуле:

$$C_P = \frac{(\rho_з - \rho_{25})}{(\rho_з - \rho_P)} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\rho_з$ и ρ_P – плотности электролита соответственно полностью заряженного и полностью разряженного аккумуляторов при температуре 25 °С, $(\rho_з - \rho_P) = 0{,}16$ г/см^3;

ρ_{25} – измеренная плотность электролита, приведенная к плотности при температуре 25 °С, г/см^3.

Для приведения плотности электролита к температуре 25 °С используют формулу:

$$\rho_{25} = \rho_t - 0{,}0007(25 - t) \quad (2)$$

Степень разряженности батареи по измеренной плотности определяют с учётом начальной плотности электролита полностью заряженной батареи (см. справочник). Батареи, степень разряженности которых больше 50 % летом и 25 % зимой, необходимо снять с эксплуатации и зарядить в стационарных условиях.

В необслуживаемых АБ отечественного и импортного производства в качестве индикатора степени заряженности используется шариковый поплавок зеленого цвета, помещенный в пластиковую трубу. Поплавок хорошо видно сквозь окно в крышке батареи. Если поплавок виден, это означает, что АБ заряжена и уровень электролита соответствует норме. Если поплавок ушёл из зоны видимости (в этом случае окно в крышке становится чёрным), это означает, что АБ нуждается в подзарядке. Если окошко становится прозрачным или жёлтым, это означает, что уровень электролита снизился ниже нормы и аккумуляторную батарею необходимо заменить.

Аккумуляторная батарея состоит из шести последовательно соединенных аккумуляторов напряжением 2 В каждый. На автомобилях используют стартерные аккумуляторные батареи напряжением 6 и 12 В, состоящие соответственно из трех и шести аккумуляторов. При номинальном напряжении бортовой сети 24 В обычно используют две 12- вольтовые аккумуляторные батареи. В настоящее время 6- вольтовые аккумуляторные батареи снимаются с производства.

Автотракторные аккумуляторные батареи выпускают в едином эбонитовом или пластмассовом моноблоке. Моноблок разделен перегородками на ячейки.

В каждой ячейке моноблока помещены отрицательные и положительные электроды, разделенные сепараторами и собранные в блок электродов. Электроды одной полярности сварены между собой с определенным зазором свинцовым мостиком, к которому приваривается борн.

Число отрицательных электродов обычно на один больше, чем положительных. Крайними в этом случае являются отрицательные электроды. Ячейки решеток электродов заполнены пористой активной массой. Основой пасты электродов является свинцовый порошок, замешиваемый в водном растворе серной кислоты. Уплотнение активного вещества отрицательных электродов в процессе эксплуатации предотвращается благодаря добавлению в пасту расширителей (сажа, дубитель, БНС, гумматы и т.д.) в смеси с сернокислым барием. Электроды в блоках разделены сепараторами, которые, предотвращая короткое замыкание между разнополярными электродами, обеспечивают необходимый для высокой ионной проводимости запас электролита в межэлектродном пространстве и возможность переноса электрического заряда от одного электрода к другому. В стартерных батареях устанавливают сепараторы из мипора, мипласта, поровинила, пластипора и винипора.

Электролит готовится из серной кислоты (ГОСТ 667-73) и дистиллированной воды (ГОСТ 6709-72). От химической чистоты электролита зависят характеристики и срок службы батареи. Кислоту подразделяют на два сорта (А и Б) в зависимости от количества примесей, содержание которых строго регламентировано ГОСТом.

Аккумуляторы соединены между собой последовательно межэлементными соединениями следующим образом: выводной борн отрицательных пластин первого аккумулятора соединяется с борном положительных пластин второго аккумулятора. На борны положительных электродов первого аккумулятора и отрицательных электродов последнего наваривают конусные полюсные выводы, служащие для присоединения аккумуляторной батареи к внешней цепи.

Каждый тип стартерных аккумуляторных батарей имеет свое условное буквенно-цифровое обозначение, которое наносится на моноблоке, крышке или перемычке и называется маркировкой. Условное обозначение типов батарей, выпускаемых в России по ГОСТ 959-2002, следующее:

первая цифра определяет число последовательно соединенных аккумуляторов в батарее (три или шесть) и характеризующая её номинальное напряжение (6 В или 12 В);

буквы ***СТ*** или ***ТСТ*** указывают на назначение батареи по функциональному признаку: стартерная или стартерная для тяжелых условий эксплуатации;

число, указывающее номинальную емкость батареи в ампер-часах при 20- часовом режиме разряда.

Буквы или цифры дополнительной информации об исполнении батареи (при необходимости) и применяемых для её изготовления материалов: ***А*** – исполнение с общей крышкой, ***З*** – залитая и полностью заряженная, слово «необслуживаемая» – для батарей, соответствующих требованию ГОСТ по расходу воды, ***Э*** – корпус-моноблок из эбонита, ***Т*** – моноблок из термопластичной пластмассы, ***М*** – сепаратор типа мипласт из поливинилхлорида, ***П*** – сепаратор-конверт из полиэтилена.

Например, обозначение ***6СТ – 55АМ*** расшифровывается следующим образом: номинальное напряжение аккумуляторной батареи 12 В, тип – стартерная, номинальная емкость при 20- часовом режиме разряда – 55 А·ч, изготовлена в моноблоке с общей крышкой с сепаратором типа мипласт и поставляется сухозаряженной.

Кроме вышеуказанного, маркировка батареи должна содержать следующие данные:

- товарный знак завода-изготовителя;
- знаки полярности «+» и «-»;
- дату изготовления (две цифры – месяц, две цифры – год изготовления);
- массу батареи в состоянии поставки с завода (если масса составляет 10 кг и более);
- ток холодной прокрутки в А.

В соответствии с требованиями ГОСТ 959-2002 на батареях должны быть указаны также знаки безопасности и символ переработки.

В новом ГОСТ 959-2002 предусмотрено изменение показателей по току холодной прокрутки по аналогии с требованиями EN 60095-1 (EN – European Norm). Поэтому при переходе на новый стандарт в маркировке всех батарей величины токов холодной прокрутки (стартерного разряда) стали больше примерно в 1,7 раза.

Европейские производители обозначают батареи пятизначными (по DIN) или девятизначными по ETN кодами. Первые три цифры в кодах по DIN и ETN содержат информацию о напряжении и ёмкости батареи. Для батарей напряжением 6 В первые три цифры (от 001 до 499) соответствуют номинальной ёмкости батареи при 20- часовом режиме разряда. У АБ на 12 В номинальную ёмкость можно получить, вычитая из первых трёх цифр (от 501 до 799) число 500. Следовательно, для батарей на 12 В первая цифра 5 говорит о том, что батарея имеет ёмкость от 1 до 99 А·ч, 6 – от 100 до 199 А·ч, а 7 – от 200 до 299 А·ч.

Например, обозначение «**555 65**» (DIN) или «**555 065 042**» (ETN) говорит о том, что батарея имеет ёмкость 55 А·ч.

Последние две цифры в коде по DIN, также как и вторая тройка цифр в коде по ETN, указывают вариант исполнения, характеризующий, например, расположение выводов, конструкцию крепежных элементов или крышки, тип газоотвода и другие особенности. При обозначении батареи девятизначным кодом по ETN последние три цифры соответствуют 0,1 тока холодной прокрутки по EN. Батарея «**562 103 064**» имеет ёмкость 20-часового разряда 62 А·ч и ток холодной прокрутки по EN, равный 640 А.

Батареи, изготовленные американскими производителями, маркируются в соответствии с требованиями стандарта SAE (США). Обозначение содержит номер типоразмерной группы и значение тока холодной прокрутки при -18°С. Например, «**А27500**»: 27-я группа (306х173х225 мм), ток 500 А.

2.5. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРА

К основным характеристикам аккумуляторных батарей относятся:

1) электродвижущая сила (ЭДС);
2) напряжение;
3) внутреннее сопротивление;
4) емкость;
5) энергия и коэффициенты отдачи.

1. Электродвижущей силой E аккумулятора называется разность потенциалов положительного и отрицательного электродов при разомкнутой внешней цепи:

$$E = \phi_+ - \phi_- \qquad (3)$$

где ϕ_+ и ϕ_- – потенциалы положительного и отрицательного электродов соответственно, В.

Электродный потенциал при разомкнутой внешней цепи равняется электродному потенциалу поляризации. Равновесный электродный потенциал характеризует состояние электрода при отсутствии переходных процессов в электрохимической системе. Потенциал поляризации определяется как разность между потенциалом электрода при заряде и разряде и его потенциалом при разомкнутой внешней цепи. Электродная поляризация сохраняется в аккумуляторе и при отсутствии тока после отключения нагрузки или зарядного устройства. Это связано с диффузионным процессом выравнивания концентрации электролита в порах электродов и пространстве аккумуляторных ячеек.

ЭДС аккумулятора зависит от плотности электролита и может быть определена из зависимости:

$$E_O = 0{,}84 + \rho_{25} \qquad (4)$$

На практике, когда не требуется высокая точность ЭДС можно измерить вольтметром с большим внутренним сопротивлением (не менее 300 Ом/В). На величину ЭДС очень мало влияет температура АБ. Изменение ЭДС в зависимости от температуры аккумулятора составляет $3{,}9 \cdot 10^{-4}$ В/°С.

Измерение ЭДС не даёт точного представления о степени разряженности аккумулятора, так как ЭДС разряженного аккуму-

лятора с электролитом большей плотности может быть выше, чем у заряженного с электролитом меньшей плотности.

ЭДС не зависит от количества активных веществ в аккумуляторе и от размеров электродов. ЭДС батареи увеличивается пропорционально числу последовательно включенных аккумуляторов:

$$E_Б = n \cdot E, \qquad (5)$$

где n – число аккумуляторов в батарее.

2. Напряжение аккумулятора отличается от его ЭДС на величину падения напряжения во внутренней цепи при прохождении разрядного или зарядного тока. При разряде напряжение на выводах аккумулятора меньше, а при заряде больше ЭДС.

Напряжение при разряде (заряде) определяются по формулам:

$$U_P = E + I_P r = E + E_П + I_P r_O \qquad (6)$$

$$U_З = E + I_З r = E + E_П + I_З r_O \qquad (7)$$

где I_P и $I_З$ – сила токов соответственно при разряде и заряде, А;

$E_П$ – ЭДС поляризации, В;

r – полное внутреннее сопротивление, Ом;

r_O – омическое сопротивление аккумулятора, Ом.

ЭДС поляризации зависит от силы разрядного тока (плотности тока), температуры электролита и практически не зависит от степени разряженности батареи. С увеличением силы тока и снижением температуры электролита ЭДС поляризации растёт.

При разряде и заряде аккумулятора поляризация обусловлена в каждый момент времени в основном действием двух составляющих: концентрационной и химической. После отключения аккумулятора происходит уменьшение ЭДС поляризации до ЭДС равновесного значения. Изменение напряжения U_P аккумулятора при его разряде с учётом потенциалов его электродов приведена на рисунке 1.

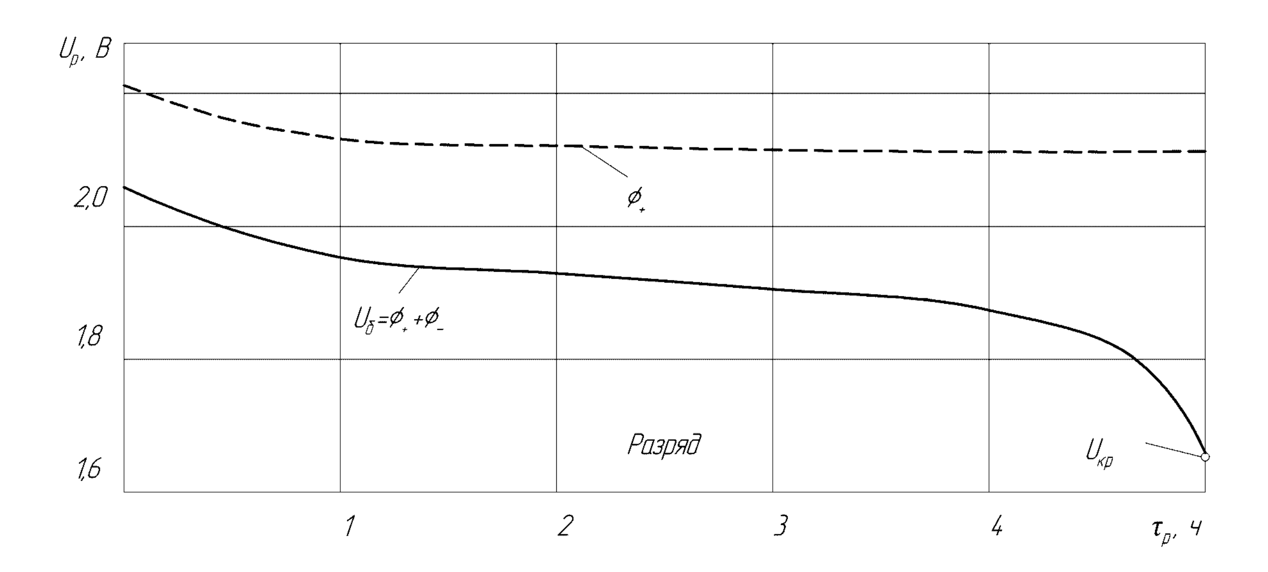


Рисунок 1 – Изменение напряжения аккумуляторной батареи при разряде

При заряде аккумулятора (рис. 2) при отрицательном значении потенциала ϕ_- напряжение начинает резко возрастать (участок *а*), что приводит к резкому снижению силы зарядного тока при достижении ЭДС аккумулятора 2,4 В.

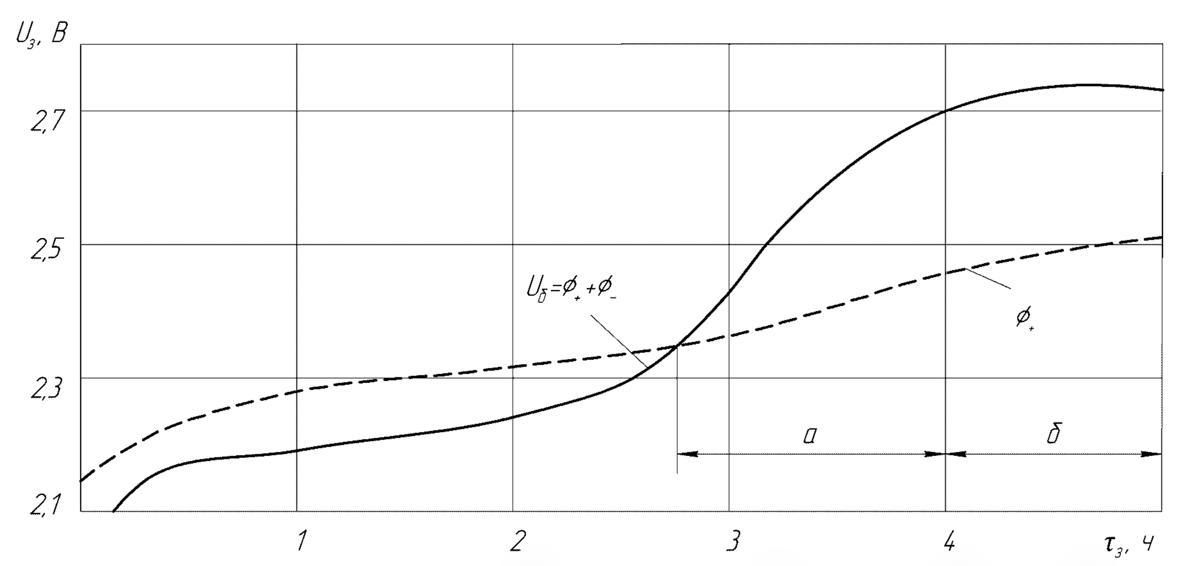


Рисунок 2 – Изменение напряжения аккумуляторной батареи при заряде

Это явление носит название «эффект запирания» и обеспечивает возможность при постоянстве зарядного напряжения генератора автоматически снижать силу зарядного тока как только начинается газовыделение в электролите. Начало газовыделения соответствует нулевому значению потенциала.

При разряде аккумулятора током постоянной величины в единицу времени расходуется определенное количество активных веществ. Плотность электролита уменьшается по линейной зависимости. В соответствии с изменением плотности уменьшаются ЭДС и напряжение аккумулятора. К концу разряда слой сульфата свинца уменьшает диаметр и площадь поверхности пор, а также экранирует поры, препятствуя притоку электролита и увеличивая электросопротивление электродов. В результате напряжение батареи начинает резко падать.

Батареи разряжаются только до конечного напряжения. Разряд прекращается, хотя активная масса израсходована не полностью. Дальнейший разряд вреден для аккумулятора и не имеет смысла, так как напряжение становится неустойчивым и быстро снижается.

В режиме заряда при постоянной силе зарядного тока напряжение $U_з$ на выводах аккумулятора возрастает вследствие внутреннего падения напряжения в нем и повышения ЭДС при увеличении плотности электролита в порах электродов. При возрастании напряжения до 2,4 В активные вещества восстанавливаются. Энергия заряда идёт на разложение воды на водород и кислород, которые выделяются в виде пузырьков газа. Водород выделяется в основном на отрицательном электроде, а кислород – на положительном.

3. Полным внутренним сопротивлением аккумулятора называется сопротивление, оказываемое прохождению внутри него разрядного или зарядного тока:

$$r = r_O + \frac{E_П}{I_P} = r_O + r_П, \qquad (8)$$

где $r_П$ – сопротивление поляризации, Ом.

Омическое сопротивление аккумулятора складывается из сопротивления электродов, состоящих из сопротивления решёток и активных веществ, сопротивления электролита между электродами и в порах активного вещества, сопротивления перехода «решётка – активное вещество – электролит», сопротивления сепараторов, а также сопротивления токопроводов (мостики с борнами, межэлементные перемычки, полюсные выводы).

Сопротивление электролита равно примерно половине внутреннего сопротивления аккумулятора и увеличивается с понижением температуры и плотности электролита.

Удельное электрическое сопротивление с увеличением плотности раствора серной кислоты до определенного уровня снижается, а затем возрастает. На рисунке 3 показано изменение удельного сопротивления электролита $r_{эл}$ от его плотности для условий эксплуатации батареи летом и зимой.

Удельное сопротивление активного вещества положительных электродов во много раз больше, чем отрицательных, следовательно, при разряде и заряде током большой силы положительный электрод будет больше нагреваться (коробиться), чем отрицательный. При разряде активная масса превращается в плохо проводящий сульфат свинца. Поэтому сопротивление электродов при разряде возрастает, а при заряде – уменьшается.

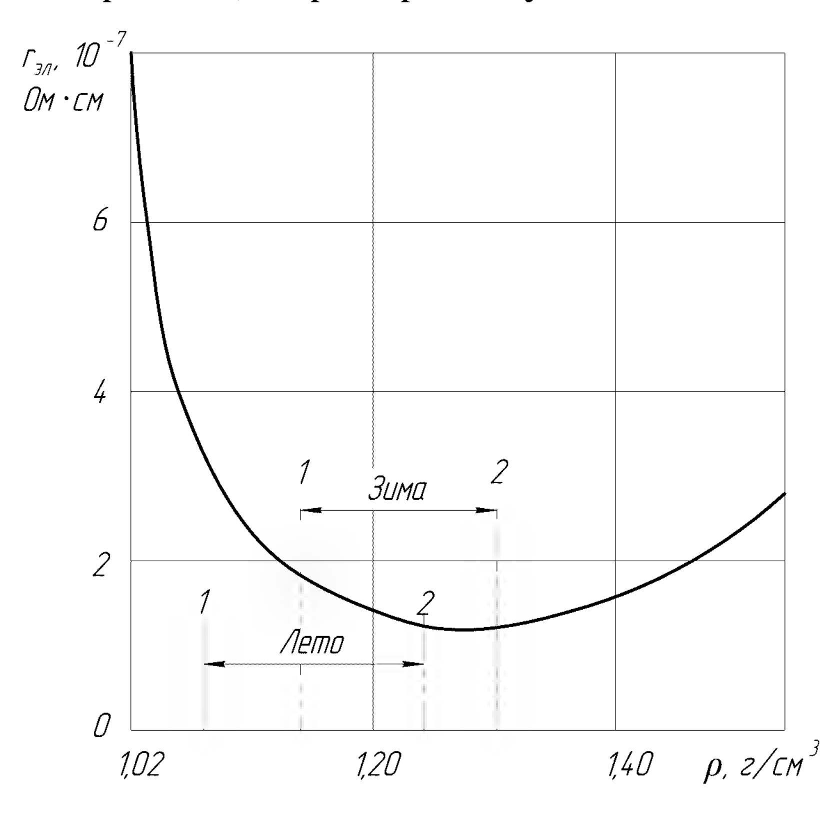


Рисунок 3 – Зависимость изменения сопротивления электролита от его плотности

Зависимость омического сопротивления батареи 6СТ-90ЭМ от степени разряженности при различной температуре электролита представлена на рисунке 4.

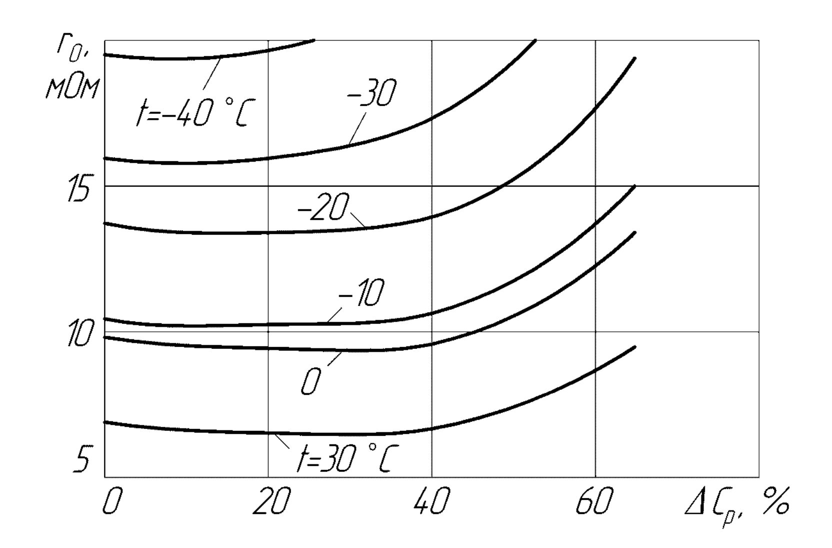


Рисунок 4 – Зависимость омического сопротивления батареи от степени разряженности при различной температуре электролита

Начальная плотность электролита заряженных свинцовых аккумуляторов обычно составляет 1,24-1,30 г/см^3, т.е. несколько больше плотности, при которой электросопротивление минимально (плотность 1,223 г/см^3). Это связано с необходимостью обеспечения требуемого для разряда запаса серной кислоты, а также со снижением плотности электролита в процессе разряда.

Слишком малая плотность электролита в конце разряда ведёт к росту внутреннего сопротивления, более быстрому падению разрядного напряжения и, как следствие, снижению разрядной ёмкости. Ограничения по повышению плотности электролита связаны со снижением срока службы батареи.

Распределение сопротивления и, соответственно, потерь напряжения по элементам внутренней цепи батареи зависит от многих факторов. В начале стартерного разряда при температуре -18 °C сопротивление электродов и токоведущих деталей составляет приблизительно 20-30%, электролита и сепараторов 34-38 %, сопротивление поляризации – 32-45 % суммарного внутреннего сопротивления батареи. С понижением температуры доля сопротивления поляризации, электролита и сепараторов возрастает.

Сопротивление заряженных стартерных аккумуляторов составляет от нескольких тысячных до нескольких сотых долей ома. Сопротивление уменьшается с увеличением числа параллельных электродов в полублоках, т.е. с увеличением ёмкости батареи.

4. При разряде и заряде аккумулятор отдаёт во внешнюю цепь или получает от зарядного устройства определенное количество электричества.

Количество электричества, отдаваемое батареей в пределах допустимого снижения напряжения разряда, называют разрядной ёмкостью.

При постоянной силе тока разрядная (зарядная) ёмкости рассчитываются по формуле:

$$C_P = I_P \cdot t_P \tag{9}$$

$$C_З = I_З \cdot t_З \tag{10}$$

Разрядная ёмкость зависит от количества заложенных в аккумуляторе активных веществ и степени их использования, определяемой напряжением конца разряда. Количество активных веществ в стартерных батареях даже при номинальной силе разрядного тока в 2-3 раза превышает теоретически необходимое. Полное использование заложенных в батарее активных веществ невозможно, так как обеднение электролита в порах и резкое снижение напряжения до конечного значения происходит раньше, чем израсходуются внутренние слои активных веществ электродов и серная кислота в моноблоке.

Разрядная ёмкость уменьшается с увеличением силы разрядного тока, так как большое количество и более плотная масса сульфата свинца откладывается на поверхности электродов, изолируя активную массу от контакта с электролитом (рис. 5).

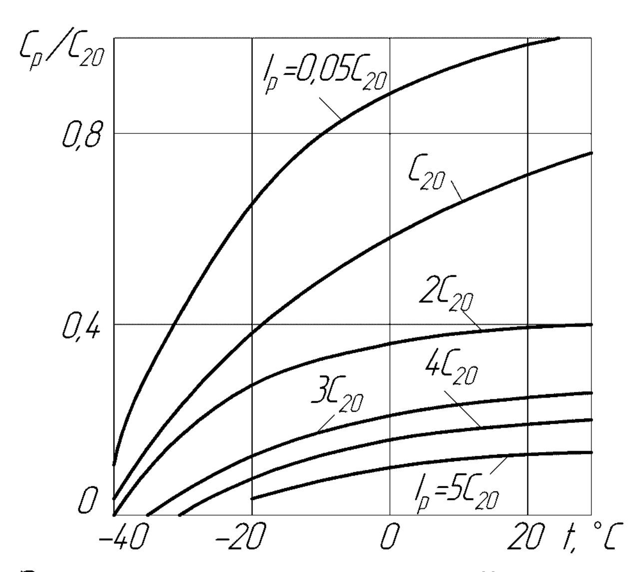


Рисунок 5 – Зависимость относительной разрядной ёмкости батареи от силы разрядного тока и температуры электролита

Ёмкость батареи в пределах допустимого разряда находят по формуле:

$$C_t = 0{,}05C_{20}t_P, \tag{11}$$

где C_{20} – номинальная ёмкость стартерной батареи при непрерывном 20- часовом разряде силой тока равной 0,05 номинальной ёмкости, А·ч.

Полученную ёмкость приводят к ёмкости при температуре 25 °С:

$$C_{25} = \frac{C_t}{1 + 0{,}01(t_{CP} - 25)}, \tag{12}$$

где t_{CP} – средняя температура между начальной и конечной температурами электролита при разряде, °С;

$0{,}01$ – температурный коэффициент изменения ёмкости в интервале температур 18-27 °С.

Ёмкость батарей для стартерных режимов разряда при температурах 25 ± 1 °С и -18 ± 1 °С указывается не в ампер-часах, а в силе разрядного тока и конечном напряжении разряда (ГОСТ 959-2002).

Одним из главных показателей является «резервная ёмкость» – время разряда (в минутах) полностью заряженной батареи при температуре 27 ± 5 °С и силе разрядного тока, равной $25 \pm 0{,}25$ А, до конечного разрядного напряжения $1{,}75$ В на аккумулятор ($10{,}5$ В на батарею).

«Резервная ёмкость» позволяет знать количество минут, в течение которых транспортное средство может продолжать движение, если отказал генератор, а суммарная сила тока нагрузки равна 25 А, что соответствует работе системы зажигания, включенного зимой дальнего света и контрольно-измерительных приборов.

Оценивать ёмкость батареи можно также по силе тока холодной прокрутки, которая обозначена на батарее. Сила тока холодной прокрутки, указанная в зарубежных стандартах и на батареи, может значительно отличаться от значений, указанных в отечественных стандартах. Током холодной прокрутки называется сила тока, при которой в конце 30-й секунды разряда при температуре -18 °С конечное напряжение 12-вольтной батареи не должно быть ниже 7,2 В и для 6-вольтной – 3,6 В. Если сила тока

холодной прокрутки не обозначена на батарее, то её приблизительно принимают равной 3C_{20} А.

5. Значения энергии разряда и заряда при постоянной величине разрядного тока определяются по формулам:

$$W_P = U_{P.CP} I_P t_P \quad (13)$$

$$W_З = U_{З.CP} I_З t_З \quad (14)$$

где $U_{З.CP}$ и $U_{P.CP}$ – средние значения напряжения соответственно при заряде и разряде, В.

Способность батареи отдавать в процессе разряда полученную при заряде энергию оценивают коэффициентами отдачи по ёмкости и энергии:

$$\eta_C = \frac{C_P}{C_З} \quad (15)$$

$$\eta_W = \frac{W_P}{W_З} \quad (16)$$

Отдача аккумулятора зависит от многих факторов и прежде всего от режима разряда и заряда и температуры. В номинальном режиме разряда коэффициент отдачи по ёмкости составляет 0,84-0,96, а по энергии 0,75-0,85. Коэффициент отдачи по ёмкости определяется потерями на разложение воды и саморазряд. Коэффициент отдачи по энергии учитывает также потери при прохождении разрядного тока при заряде и разряде.

2.6. МЕТОДЫ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Аккумуляторные батареи заряжают от источника постоянного тока, на выводах которого напряжение выше зарядного напряжения заряжаемой батареи. При подключении к источнику тока положительный и отрицательный выводы батареи подсоединяются соответственно к положительным и отрицательным выводам источника.

Сила зарядного тока определяется по формуле:

$$I_З = \frac{U_{И.Т.} - U_З}{R}, \quad (17)$$

где $U_{И.Т.}$ – напряжение сети, В;

$U_З$ – напряжение при заряде АБ, В;

R – сопротивление реостата, Ом.

В стационарных условиях аккумуляторную батарею можно заряжать при постоянной силе тока или при постоянном напряжении. Напряжение зарядного устройства уменьшается с увеличением силы тока. Для поддержания постоянства одного из основных параметров режима заряда необходимо применять регулирующие устройства.

При любом способе заряда аккумуляторные батареи можно заряжать, если температура электролита в них не выше 30 °С в холодной и умеренной климатических зонах и не выше 35 °С в жаркой и теплой влажной зонах.

1. Заряд при постоянной силе тока. Такой заряд применяют на зарядных станциях и в аккумуляторных отделениях автотранспортных предприятий. Постоянство зарядного тока достигается различными способами: регулированием напряжения зарядного агрегата; изменением сопротивления реостата, включенного в цепь заряда; применением различных стабилизаторов тока.

Сила тока при этом должна быть равной 0,1 номинальной емкости при 10- часовом режиме, а при 20- часовом режиме соответственно – 0,05 номинальной емкости. При заряде таким током вначале почти вся энергия идет на основные реакции. Когда аккумуляторной батарее будет сообщено около 90 % емкости, которую она отдала при предшествующем заряде, для поддержания тока заряда необходимо повысить напряжение до значения, при котором начинается разложение воды. В конце заряда аккумулятора большая часть активной массы пластин превратится в двуокись свинца и губчатый свинец, а поэтому часть ионов кислорода и водорода, выделяющихся на пластинах, не вступает в химическую реакцию, нейтрализуется (разряжается) и, выделяясь в виде пузырьков газа, вызывает «кипение» электролита, что служит признаком окончания заряда.

Газообразование начинается при напряжении аккумулятора 2,4 В, бурно возрастает до 2,7 В и продолжается до момента прекращения заряда.

Аккумуляторная батарея считается заряженной, если во всех аккумуляторах наблюдается постоянство плотности электролита на протяжении двух часов. Обычно на заряд при регули-

руемом напряжении зарядного агрегата подключают группу последовательно соединенных аккумуляторных батарей. Притом подбирают батареи с одинаковой или близкой по назначению емкостью, из расчета 2,7 В на каждый аккумулятор.

По мере заряда аккумуляторных батарей повышается их Э.Д.С., что вызывает уменьшение силы тока. Для поддержания необходимой величины силы тока в начале и в процессе всего заряда в каждую цепь включают регулировочный реостат.

Величина сопротивления реостата определяется по формуле:

$$R = \frac{(U_{и.т.} - 2 \cdot n \cdot K)}{I_з}, \qquad (18)$$

где 2 – расчетное напряжение на один аккумулятор, В;

n – число аккумуляторов в батарее;

K – число последовательно включенных аккумуляторных батарей в цепи заряда;

2. Заряд при постоянстве напряжения. Данный способ заряда применяют в основном на автомобилях и реже на зарядных станциях. При этом способе напряжение в процессе заряда поддерживается постоянным, а зарядный ток изменяется следующим образом. В начале заряда ЭДС аккумуляторной батареи понижена, из-за низкой плотности электролита, поэтому ток достигает наибольших значений до 1-1,5 номинальной емкости. В процессе заряда, когда ЭДС батареи постепенно возрастает, сила тока понижается. К концу заряда сила тока уменьшается до значений, меньших 0,1 номинальной емкости. В стационарных условиях напряжение заряда при данном способе должно быть 2,3-2,4 В на один аккумулятор.

Продолжительность заряда при постоянном напряжении практически одинакова с продолжительностью заряда при постоянном значении тока. Преимуществом данного способа является меньшее газовыделение в конце заряда из-за меньшего напряжения, а недостатком – значительная перегрузка зарядного агрегата в начале заряда и недоиспользование мощности в конце заряда.

3. Ускоренный заряд. В процессе эксплуатации в случаях чрезмерного разряда аккумуляторных батарей применяется ускоренный заряд. Причиной чрезмерного разряда является неисправность генераторной установки на автомобиле. Ускоренный

заряд можно осуществлять токами равными 0,7-0,9 номинальной емкости. При использовании данного способа заряда важно, чтобы количество электричества, получаемое батареей, было не более значения емкости, потерянной при заряде. В случае перезаряда при ускоренном заряде значительно снижается срок службы батареи.

4. Форсированный заряд. Для быстрого восстановления работоспособности сильно разряженной аккумуляторной батареи проводят форсированный заряд током силой, численно равной $0{,}7C_{20}$. Время форсированного подзаряда должно быть тем меньше, чем больше сила тока заряда (30 мин при силе тока $0{,}7C_{20}$, 45 мин при токе $0{,}5C_{20}$ и 90 мин при токе $0{,}3C_{20}$). При повышении температуры электролита свыше 40 °С заряд прекращается. Применять форсированный заряд можно только в исключительных случаях, так как многократное повторение такого способа заряда заметно сокращает срок службы аккумуляторной батареи.

5. Быстрый заряд силой тока до 100 А в течение 15-30 минут. При заряде аккумуляторной батареи большой силой тока не допускается повышение температуры электролита выше +45 °С. После заряда батареи необходимо проверить плотность электролита и в случае необходимости довести ее до нормы доливкой в аккумуляторы дистиллированной воды или электролита плотностью 1,4 г/см^3.

6. Уравнительный заряд. При проведении уравнительного заряда токами, меньшими $0{,}1C_{20}$, обеспечивается выравнивание плотности электролита и степени заряженности отдельных аккумуляторов батареи, восстановление активных масс на электродах, нейтрализация действия глубоких разрядов на отрицательный электрод. Уравнительный заряд обычно используется для устранения возможной сульфатации электродов и заканчивается через три часа после установления постоянства плотности электролита.

7. Подзаряд малыми токами. Ток заряда силой 0,025-0,1 А выбирается из условия компенсации теряемой батареей емкости при саморазряде. Подзаряд может осуществляться при постоянной силе тока или при постоянном напряжении как на транспортном средстве, так и в помещениях для хранения батарей. Непрерывный подзаряд позволяет поддерживать батарею в

заряженном состоянии, однако одновременно ускоряет процесс коррозии решеток положительных электродов. На подзаряд малыми токами следует устанавливать только исправные и полностью заряженные батареи.

8. Контрольно-тренировочный цикл. Для батарей, залитых электролитом, контрольно-тренировочные циклы проводятся один раз в год и в тех случаях, когда нужно оценить пригодность батареи для дальнейшей эксплуатации. По результатам контрольно-тренировочного цикла судят о техническом состоянии батареи, выявляют неисправные аккумуляторы в батарее, оценивают её возможности по отдаче емкости. Контрольно-тренировочный цикл включает в себя заряд батареи током силой $0{,}1C_{20}$ до напряжения 2,4 В на каждом аккумуляторе, дальнейший полный заряд батареи током $0{,}05C_{20}$, затем разряд постоянным током силой $0{,}05C_{20}$ до конечного разрядного напряжения на аккумуляторе 1,75 В. Емкость, отданная при разряде батареи в контрольно-тренировочном цикле, приводится к температуре 25°С и сравнивается с номинальной. В период гарантированного срока службы она не должна быть меньше $0{,}9C_{20}$. Если емкость ниже 40% от номинальной, то батарея считается непригодной к эксплуатации.

2.7. НЕОБСЛУЖИВАЕМЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

Традиционные стартерные батареи имеют достаточно высокие электрические характеристики, однако обладают рядом существенных недостатков. В процессе эксплуатации батареи снижается уровень электролита, что требует периодического (1 – 2 раза в месяц) добавления дистиллированной воды, проверки плотности электролита и в случае необходимости выравнивания значений плотности по отдельным аккумуляторам. Снижение уровня электролита происходит, в первую очередь, в результате электролиза воды при прохождении тока в конце заряда и при перезарядке батареи. У необслуживаемых батарей этот вид снижения уровня электролита значительно меньше, так как меньше перезаряд батареи. Снижение уровня электролита также происходит в результате его испарения и зависит от температуры бата-

реи, т.е. в основном от места установки батареи на автомобиле (под капотом или снаружи) и от климатических условий эксплуатации.

При хранении происходит саморазряд батареи, который обычно составляет 0,5-0,8 % в сутки, увеличиваясь с повышением температуры. В случае хранения батареи при положительных температурах ее следует подзаряжать. Интенсивность электролиза электролита и сопутствующей ему коррозии решеток возрастает при перезарядке, повышении температуры и длительном использовании батареи.

Выделяемая при работе свинцовой батареи кислородно-водородная смесь взрывоопасна, газы и пары электролита могут вызвать коррозию металлических деталей автомобиля, расположенных рядом с батареей, а также полюсных выводов и деталей крепления самой батареи. Некоторые вещества, образующиеся при эксплуатации батареи, например, стибин-сурьмянистый водород, токсичны.

Отмеченные недостатки, характерные для обычных (традиционных) батарей, связаны с содержанием 4 – 6 % сурьмы в сплаве свинца, из которого отливаются решетки электродов.

Сурьма в решетках положительных электродов способствует более интенсивному выделению кислорода и одновременно электрохимическому переносу и отложению сурьмы на поверхности отрицательного электрода. Присутствие даже небольшого количества сурьмы на поверхности отрицательного электрода приводит к заметному росту газовыделения и снижению объема (уровня) электролита. Перенос сурьмы на поверхность отрицательного электрода приводит к повышению его потенциала, снижению электродвижущей силы (ЭДС), повышению силы разрядного тока, увеличению потерь воды и сокращению срока службы батареи.

Появление необслуживаемых батарей стало возможным благодаря применению решеток из свинцово-кальциевого сплава или свинцово-сурьмянистого сплава с уменьшенным содержанием сурьмы.

Необслуживаемые батареи со свинцово-кальциевыми решетками отличаются не только малыми газовыделением и саморазрядом, но и другими преимуществами. Такие батареи можно

устанавливать в местах, не требующих удобного доступа для обслуживания. Коррозия решеток электродов меньше. Батареи имеют лучшие характеристики стартерного режима разряда. Добавления воды в процессе эксплуатации не требуется, это конструкцией батареи не предусмотрено.

Технологические трудности изготовления решеток электродов из сплава свинца и кальция заставили разрабатывать батареи с ограниченным объемом обслуживания на основе электродов с пониженным содержанием сурьмы в решетках. Интенсивность газовыделения существенно снижается только при уменьшении содержания сурьмы в сплаве решетки до 2,0 – 2,5 %. Но уже при содержании сурьмы ниже 4 % резко ухудшаются литейные свойства свинцово-сурьмянистого сплава, снижается механическая прочность решетки, возрастает скорость коррозии электродов. Для сохранения необходимых технологических и эксплуатационных свойств малосурьмянистых сплавов в них добавляют медь (0,02 – 0,05 %), серу и селен (до 0,01 %). На литейных свойствах сплава благоприятно сказывается присадка олова (до 0,01 %).

Батареи с решетками электродов из малосурьмянистых сплавов, содержащих легирующие добавки, имеют несколько худшие показатели саморазряда по сравнению с батареями, в которых решетки выполнены из свинцово-кальциевого сплава. Такие батареи имеют достаточно высокий срок службы и малочувствительны к глубоким разрядам, однако требуют один раз в год долива воды.

В отечественных необслуживаемых (зарубежные батареи с электродами такого типа называются малообслуживаемыми) батареях по сравнению с обычными батареями уменьшено содержание сурьмы в сплаве решеток электродов. Поэтому значительно снизилась интенсивность саморазряда батареи (до 0,08-0,01 % в сутки). Отличительными особенностями необслуживаемых батарей являются:

- применение сепараторов-конвертов;
- установка блока электродов с сепараторами-конвертами на дно моноблока и их приклейка к дну,

что позволяет повысить стойкость к вибрации и увеличить объем электролита;

- уменьшение толщины и сопротивления решеток электродов;
- применение укороченных межэлементных соединений, проходящих через перегородки пластмассовых моноблоков;
- расположение ушек электродов не у их краев, а ближе к середине, что обеспечивает лучшее токораспределение при разряде и заряде;
- использование полипропилена для изготовления моноблоков и общих крышек;
- применение выводов из коррозионно-стойкой стали под болт или гайку;
- прикрепление блока электродов к баретке с помощью полиуретана для повышения стойкости к вибрации.

К недостаткам необслуживаемых батарей со свинцово-кальциевыми решетками электродов можно отнести:

- невозможность определить состояние батареи по плотности электролита, так как отсутствуют заливные пробки; заряженность таких батарей определяется только по индикатору заряженности;
- заряженность АБ определяется только по индикатору;
- при интенсивном заряде возможно снижение емкости, поэтому рекомендуется регулировать напряжение генератора в пределах 14,2-14,4 В.

Перспективно применение на автомобилях конструкций герметичных необслуживаемых батарей с рекомбинацией выделяющихся газов и встроенными в крышки регулировочными клапанами, которые открываются при избыточном давлении газов. Такие батареи имеют обозначение VRLA.

2.8. ГЕРМЕТИЗИРОВАННЫЕ АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ С ИММОБИЛИЗОВАННЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Создание полностью необслуживаемой батареи свинцово-кислотной системы становится возможным, если её конструкцию

изменить таким образом, чтобы связать выделяющийся на положительном электроде газ на поверхности отрицательного электрода (реализация кислородного цикла). Для этого ёмкость отрицательных электродов в аккумуляторе должна быть на несколько процентов больше ёмкости положительных. Тогда в процессе заряда положительные электроды полностью заряжаются раньше, чем отрицательные. Поэтому активное выделение кислорода на положительном электроде начинается до начала заметного выделения водорода на отрицательном. Выделяющийся кислород вступает в химическую реакцию с активной массой отрицательного электрода.

Для ускорения поступления кислорода от положительного электрода к отрицательному необходимо ограничение объёма свободного электролита. Поэтому для производства герметизированных батарей разработаны методы связывания жидкого электролита:

1) создание гелеобразного электролита;

2) абсорбция жидкого электролита в сепараторах с высокой объёмной пористостью.

Искусственное ограничение ёмкости положительных электродов и объёма электролита приводят к тому, что ёмкость герметизированных свинцовых АБ с иммобилизованным электролитом на 15-20 % ниже, чем у АБ со свободным электролитом того же объёма и массы.

В качестве загустителя для получения гелеобразного электролита применяют силикагель, аллюмогель и другие вещества. При смачивании серной кислотой данные вещества образуют тиксотропный гель. В качестве сепараторов в подавляющем большинстве герметизированных батарей применяют стекломаты из ультратонких волокон. Объёмная пористость современных стеклосепараторов достигает 80-85 %. Поэтому их используют не только для батарей с гелеобразным электролитом, но и для батарей с абсорбированным жидким электролитом.

Свинцовые батареи с иммобилизованным электролитом являются герметизированными, но не являются герметичными как, например, никель-кадмиевые герметичные аккумуляторы. Во всех свинцовых герметизированных АБ имеется предохранительный клапан. Он служит для того, чтобы давление внутри аккуму-

лятора не превышало величины, которая является допустимой по условиям работоспособности и прочности корпусных деталей. Дело в том, что, несмотря на применяемые ограничения ёмкости положительных электродов, выделение водорода на отрицательном электроде в процессе заряда, особенно на заключительной его стадии, полностью подавить невозможно. Причём скорость его выделения в конце зарядного процесса несколько выше, чем скорость выделения кислорода. Избыточная часть водорода вызывает рост давления внутри аккумулятора, для ограничения которого и служит клапан.

Эффективная эксплуатация герметизированных свинцовых батарей возможна при соблюдении гораздо более жесткого диапазона регулирования зарядного напряжения, чем при эксплуатации необслуживаемых батарей с жидким электролитом. Максимальная величина зарядного напряжения для батарей с гелеобразным электролитом составляет 14,35 В. В случае превышения данной величины на 0,05 В, скорость газовыделения резко возрастает, что приводит к нарушению кислородного цикла. Образующийся из-за этого избыток выделяющихся газов приводит к нарушению контакта активной массы электродов с электролитом, и АБ теряет работоспособность. У батарей с абсорбированным электролитом максимально допустимая величина зарядного напряжения ограничена 14,8 В.

2.9. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ С РУЛОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В настоящее время освоен выпуск стартерных аккумуляторных батарей принципиально новой конструкции типа «OPTIMA-850». Они выполнены по технологии «ячеистых спиралей». Размеры батареи «OPTIMA-850» не больше традиционной аккумуляторной батареи номинальной ёмкостью 55 А·ч. При этом по количеству выделяемой энергии в стартерном режиме разряда она сопоставима с аккумуляторной батарей ёмкостью 190 А·ч. Максимальная сила тока (ток холодной прокрутки), который данная батарея отдаёт в течение 30 с при температуре -18 °С и при условии, что напряжение на её выводах не ниже 7,2 В, со-

ставляет 850 А. Батарея «OPTIMA-850» отдаёт стартерный ток достаточно большой силы даже при температуре -40 °С.

Благодаря большой площади поверхности электродов такая батарея быстрее заряжается. По данным фирмы-изготовителя, от разряженного до полностью заряженного состояния батарея может быть доведена менее чем за один час. Для этого сила тока заряда должна быть равна 100 А при напряжении заряда 14,4 В.

Батарея «OPTIMA-850» полностью герметизирована. Электролит находится в абсорбированном состоянии в микропорах ленты из специального стекловолокна (сепараторе), расположенной между свитыми в рулон электродами (пластинами) из высокочистых свинца и диоксида свинца, размещенных в прочных изолированных секциях.

Аккумуляторы «OPTIMA-850» абсолютно безопасны и могут работать при любых углах наклона, даже при полном перевороте батареи вверх дном, без какого-либо риска вытекания электролита. Риск перезаряда АБ сведен к минимуму, так как батарея способна принимать заряд в широком диапазоне зарядного напряжения и силы зарядного тока.

Батарея «OPTIMA-850» обладает высокой механической прочностью, устойчива к вибрации с ускорением $4g$ при частоте 33 Гц в течение 12 ч и с ускорением $6g$ при частоте 50 Гц в течение 4 ч.

АБ «OPTIMA-850» не требует технического обслуживания в эксплуатации, обеспечивает не менее 12000 циклов стартерного режима разряда, тогда как традиционные стартерные аккумуляторные батареи – не более 4000 циклов.

Резервная ёмкость данной батареи составляет 120 минут.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются современные АБ?
2. Какие условия эксплуатации характерны для аккумуляторных батарей?
3. Какие основные требования предъявляются к автотракторным батареям?

4. На каких явлениях основан принцип действия свинцового аккумулятора?

5. Какие физико-химические процессы происходят в свинцово-кислотной аккумуляторной батареи при заряде и разряде?

6. Как осуществляется маркировка отечественных и импортных АБ?

7. Что такое емкость аккумуляторной батареи в 20-часовом режиме разряда?

8. Какие основные характеристики имеет АБ?

9. Какие существуют методы заряда АБ?

10. Чем отличаются «необслуживаемые» аккумуляторные батареи?

3. ГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ

3.1. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. УСЛОВИЯ РАБОТЫ. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Автомобильные и тракторные системы электроснабжения – это совокупность оборудования, обеспечивающего производство электрической энергии необходимого качества, распределение и передачу её потребителям.

На автомобилях и тракторах применяют системы электроснабжения постоянного тока. В систему электроснабжения входят:

- источники электрической энергии (генератор, аккумуляторная батарея);
- регулирующие устройства;
- элементы контроля и защиты от возможных аварийных режимов (реле, контрольные лампы и т.п.).

Основным источником электрической энергии в системе электроснабжения является генератор переменного тока с выпрямителем, который приводится во вращение от двигателя внутреннего сгорания через ременную передачу. Специальный узел генератора – выпрямитель обеспечивает преобразование переменного тока в постоянный. Поскольку переменный ток выпрямляется полупроводниковыми диодами (вентилями), данные генераторы называются вентильными.

Генератор с регулятором напряжения образуют генераторную установку. **Генераторная установка** – электромеханическое устройство, способное выдерживать повышенную вибрационную нагрузку, высокую температуру под капотом автомобиля, воздействие влажной среды, грязи и других факторов.

Режим работы потребителей электроэнергии на автомобиле и тракторе характеризуется широким диапазоном и случайным характером нагрузки. Скоростной режим работы генератора, ротор которого приводится во вращение от двигателя, также имеет случайный характер. При этом даже при частоте вращения коленчатого вала двигателя, соответствующей режиму холостого хода, генератор должен развивать мощность, достаточную для

электроснабжения системы впрыскивания топлива, системы зажигания, информационно-измерительной системы, габаритных огней и фонарей освещения номерного знака.

Основное требование к системе электроснабжения – надёжное обеспечение потребителей электрической энергией в различных условиях эксплуатации машины. Кроме того, элементы системы электроснабжения должны отвечать общим требованиям, которые предъявляются к автотракторному электрооборудованию.

Кроме электроснабжения потребителей, входящих в систему электрооборудовании автомобиля и трактора, генератор должен обеспечивать заряд аккумуляторной батареи при работающем двигателе. Выходные параметры генераторной установки выбираются таким образом, чтобы на любых режимах движения машины не происходил прогрессивный разряд аккумуляторной батареи.

Параллельная работа генератора и аккумуляторной батареи связана со случайным характером распределения нагрузки между ними. Аккумуляторная батарея на автомобиле и тракторе выполняет функции как источника, так и потребителя электрической энергии. Распределение нагрузки между генератором и аккумуляторной батареей зависит от многих факторов, основными из которых являются скоростной режим работы двигателя и зависимость от силы отдаваемого тока, частоты вращения ротора генератора, уровня регулируемого напряжения, состояния аккумуляторной батареи и температуры окружающей среды.

При наличии электронных устройств особые требования предъявляют к характеру изменения выходного напряжения генераторной установки. Импульсное напряжение возникает в системе электроснабжения как при нормальных режимах работы в результате действия переключающих устройств (диодов выпрямителя и транзисторов регулятора напряжения), так и в аварийных режимах, например, при внезапном отключении аккумуляторной батареи. Кратковременные импульсы напряжения в системе электроснабжения не должны превышать 150 В, которые могут выдерживать полупроводниковые элементы генераторной установки.

На легковых автомобилях среднего класса и грузовых автомобилях преобладают генераторные установки, рассчитанные на максимальную силу тока 50-70 А, а на автомобилях высшего класса – до 90-100 А, т.е. максимальная мощность, отдаваемая потребителям, достигает 1,4-1,5 кВт. При таких мощностях становится важным обеспечить высокий КПД генераторной установки. Мощность, забираемая генераторной установкой от ДВС на максимальной частоте вращения коленчатого вала, приближается к 4,5 кВт. В этом случае расход топлива на привод генератора может достигать до 6 % общего расхода, причём 75 % данного расхода теряется на нагрев узлов генераторной установки.

Надёжность функционирования системы электроснабжения в значительной степени предопределяет безопасность движения автомобиля и выполнения технологических операций трактором. Система электроснабжения должна выполнять заданные функции, сохраняя требуемые эксплуатационные показатели в заданных пределах, при заданных режимах и условиях работы в течение требуемого периода времени.

Параметрами, характеризующими генераторную установку, являются также номинальное напряжение генератора, уровень и диапазон изменения регулируемого напряжения, качество электрической энергии, диапазон частот вращения и передаточное число привода генератора.

Отдача электрической энергии генератора зависит от дорожных условий, грузопотока автомобилей, времени суток и года. Наиболее нагружен генератор при работе ночью в зимний период эксплуатации, когда включены отопитель, обогрев стёкол, приборы освещения и световой сигнализации. Потребляемая сила тока в этом случае составляет 55-80 % максимальной силы тока отдачи генератора. При движении машины в светлое время суток при положительной температуре окружающей среды токовая нагрузка генератора минимальна и не превышает 10-20 % максимальной.

Генераторные установки автомобилей имеют номинальное напряжение 14 и 28 В. Напряжение 28 В характерно для автомобилей с дизельными двигателями. У грузовых автомобилей с дизелями система электроснабжения может обеспечивать два уровня напряжения: 14 В – непосредственно на генераторе для элек-

троснабжения основных потребителей; 28 В – на выходе трансформаторно-выпрямительного блока для подзаряда аккумуляторной батареи, используемой при пуске двигателя.

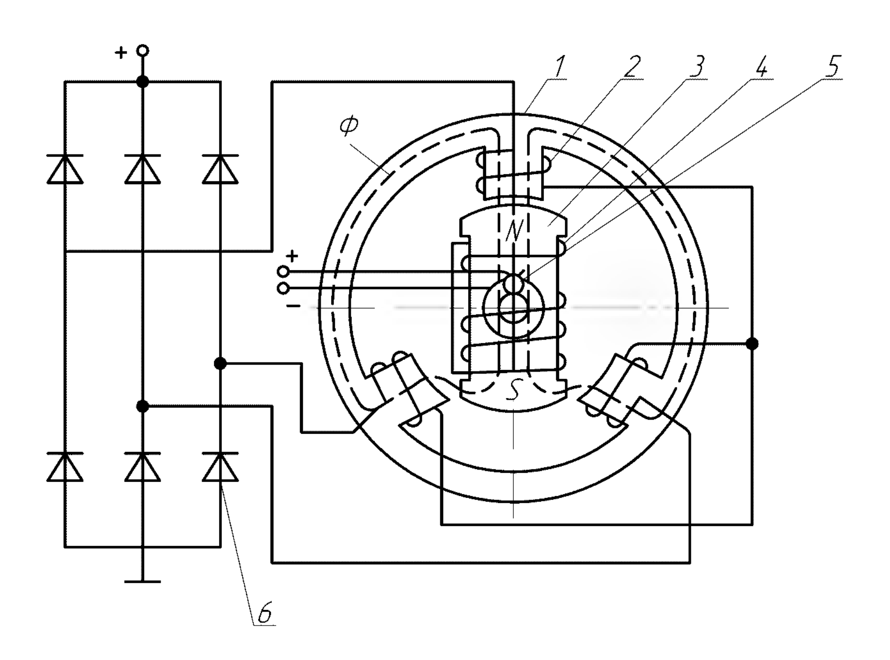
3.2. ПРИНЦИП РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Преобразование в генераторе механической энергии в электрическую происходит в соответствии с явлением электромагнитной индукции. Если с определенной скоростью изменять магнитный поток, пронизывающий контур из токопроводящего материала, то на выводах контура появляется ЭДС. Когда изменяющийся магнитный поток пронизывает катушку с изолированными друг от друга витками токопроводящего провода, то на выводах катушки возникает ЭДС, пропорциональная произведению числа витков и скорости изменения магнитного потока.

Возможны два варианта изменения магнитного потока (наведения ЭДС) в катушках автомобильных и тракторных генераторов:

- по величине и направлению, что характерно для щеточной конструкции вентильного генератора с клювообразным ротором;
- только по величине, что характерно для бесщеточного генератора, в частности, индукторного.

Основными узлами генератора (рис. 6), в которых происходит преобразование механической энергии в электрическую, является магнитная система с обмоткой возбуждения **4** и стальными участками магнитопровода **1**, по которым протекает магнитный поток **Ф**, и обмотка **2** статора, в которой индуктируется ЭДС при изменении магнитного потока. Магнитный поток создаётся обмоткой **4** возбуждения при протекании по ней электрического тока и системой полюсов. Полюса с обмоткой возбуждения, кольца, через которые ток от щёток подводится к обмотке возбуждения, вал и некоторые другие конструктивные элементы образуют вращающийся ротор. Обмотка **2**, в которой вырабатывается электрический ток, размещена на неподвижном магнитопроводе **1** и вместе с ним представляет собой статор.



1 – магнитопровод; 2 – обмотка статора; 3 – полюс ротора;
4 – обмотка возбуждения; 5 – щётки; 6 – выпрямитель.

Рисунок 6 – Электрическая схема вентильного синхронного генератора

При вращении ротора напротив полюсов статора с расположенными на них обмотками фаз оказываются то северный **N**, то южный **S** полюсы ротора. Магнитный поток **Ф**, пронизывающий обмотки статора, изменяется по величине и направлению, что и приводит к появлению в обмотках переменной ЭДС. Частота изменения ЭДС связана с частотой вращения ротора и числом пар полюсов ротора соотношением:

$$f = \frac{pn_P}{60}, \tag{19}$$

где p – число пар полюсов;

n_P – частота вращения ротора генератора, мин$^{-1}$;

В отечественных автомобильных вентильных генераторах число пар полюсов равно шести, поэтому частота их переменного тока в десять раз меньше частоты вращения ротора. Чем выше частота вращения ротора и больше величина магнитного потока, тем быстрее происходит его изменение внутри катушек фаз статора и тем выше значения наводимой в них ЭДС.

Обмотка каждой фазы может иметь несколько катушек, соединенных последовательно, параллельно и смешанно. Фазо-

вые обмотки статора соединяют в многолучевую звезду или многоугольник.

В трёхфазном генераторе имеются три группы катушек, расположенных на соседних зубцах статора таким образом, что наводимые в них ЭДС смещены на 120°.

3.3. УСТРОЙСТВО ГЕНЕРАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На автомобилях и тракторах применяют трехфазные синхронные генераторы переменного тока с электромагнитным возбуждением, которые по сравнению с генераторами постоянного тока проще по конструкции, имеют меньшие габаритные размеры и массу при той же мощности, более надежны в эксплуатации. Расход меди на обмотки примерно в 2,5 раза меньше, чем в генераторах постоянного тока. В генераторах переменного тока нет коллектора, вместо сложной обмотки якоря применяется технологически простая обмотка статора, обмотка возбуждения состоит из одной катушки. Удельная мощность генераторов постоянного тока не превышает 45 Вт, а генераторов переменного тока достигает до 143 Вт на 1 кг массы генератора (Г266).

С увеличением частоты вращения якоря генератора постоянного тока из-за наличия коллектора, увеличивается искрение под щетками, что снижает надежность работы генератора. Отсутствие коллектора в генераторах переменного тока позволяет повысить максимальную частоту вращения ротора до 6200 $мин^{-1}$. Следовательно, повышается частота вращения ротора генератора и при работе двигателя в режиме холостого хода. Поэтому генераторы переменного тока в этом режиме работы двигателя развивают до 40 % номинальной мощности, что улучшает заряд аккумуляторных батарей. Генераторы постоянного тока при этой же частоте вращения не заряжают аккумуляторных батарей.

Так как для подзаряда аккумуляторных батарей на машине необходим постоянный ток, генераторы переменного тока снабжены выпрямителями. Современные генераторы переменного тока оснащены выпрямительными устройствами, размещенными внутри корпуса генератора. При использовании генераторов переменного тока с кремниевыми выпрямителями исключается установка реле обратного тока и ограничителя силы тока, что в зна-

чительной степени упрощает конструкцию реле-регулятора и обеспечивает повышение надежности работы генераторной установки.

Генераторы Г 250, Г 266, Г 271, наиболее широко применяемые, имеют одинаковую конструктивную схему. Обмотка, в которой индуктируется переменный ток, расположена на неподвижном статоре, а обмотка возбуждения – на вращающемся роторе.

Сердечник статора для уменьшения нагрева вихревыми токами набирают из тонких стальных пластин, изолированных друг от друга лаком, сердечник статора закреплен между двумя алюминиевыми крышками, стянутыми винтами. Внутренняя поверхность сердечника имеет 18 зубцов, равномерно расположенных по окружности, на которые надеты катушки обмотки статора. Статор в сборе пропитывают электроизоляционным лаком. Каждая из трех фаз обмотки статора объединяет по шесть последовательно соединенных катушек. Обмотка статора соединена по схеме «звезда», а в генераторе Г 286 по схеме «треугольник».

Свободные концы фаз обмотки статора присоединены к трем клеммам выпрямительного блока. Шесть кремниевых диодов выпрямительного блока соединены по трехфазной двухполупериодной схеме выпрямления. Выходы трех диодов прямой проводимости и трех диодов обратной проводимости объединены контактными пластинами.

Крепежные болты выпрямительного блока соединены с контактными пластинами и выполняют функцию токопроводов. Три болта замыкают на корпус контактную пластину диодов обратной проводимости, крепежный болт которой служит отрицательным выводом генератора. Другой крепежный болт, соединенный с контактной пластиной диодов прямой проводимости, образует на крышке изолированный от корпуса вывод «+» генератора.

Ротор состоит из двух стальных шестиполюсных наконечников, изготовленных из мягкой стали. Наконечники одной половины ротора с северной магнитной полярностью входят между наконечниками второй половины ротора с южной магнитной полярностью. Ротор вращается в двух шариковых подшипниках, ус-

тановленных в крышках. Подшипники заполнены смазкой и при эксплуатации не смазываются.

Катушка обмотки возбуждения нанизана на стальную втулку, расположенную между полюсными наконечниками являющуюся магнитопроводом. Концы обмотки возбуждения припаяны к двум медным контактным кольцам, установленным на валу ротора при помощи изоляционных втулок.

Полюсные наконечники, втулка магнитопровода и изоляционные втулки контактных колец напрессованы на рифленую поверхность вала ротора.

На крышке генератора винтами крепится щеткодержатель. Две графитовые щетки установлены в направляющих щеткодержателя и прижимаются к контактным кольцам пружинами. Одна щетка, изолированная от корпуса, соединена с выводом **Ш**, который выполняется в виде болтового или штекерного зажима. Другая щетка соединена с корпусом генератора.

Генераторы оснащены крыльчаткой, создающей поток охлаждающего воздуха, который поступает через окна в крышках.

3.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

У вентильных генераторов есть некоторые особенности, влияющие на их характеристики:

- выпрямление переменного тока;
- подбор обмоточных данных, обеспечивающих номинальное напряжение при минимальной частоте вращения ротора, соответствующей режиму холостого хода автомобильного двигателя;
- самоограничение силы отдаваемого тока.

Основные параметры вентильного генератора – напряжение U, частота вращения ротора n и мощность P (или сила тока, отдаваемого генератором при заданном напряжении).

Зависимость выпрямительного напряжения U_d от силы тока возбуждения I_B при отключенной нагрузке и постоянной частоте вращения ротора n называют характеристикой холостого хода (рис. 7). В режиме холостого хода выпрямленное напряже-

ние равно ЭДС E_d. Характеристики холостого хода вентильных генераторов получают при независимом возбуждении.

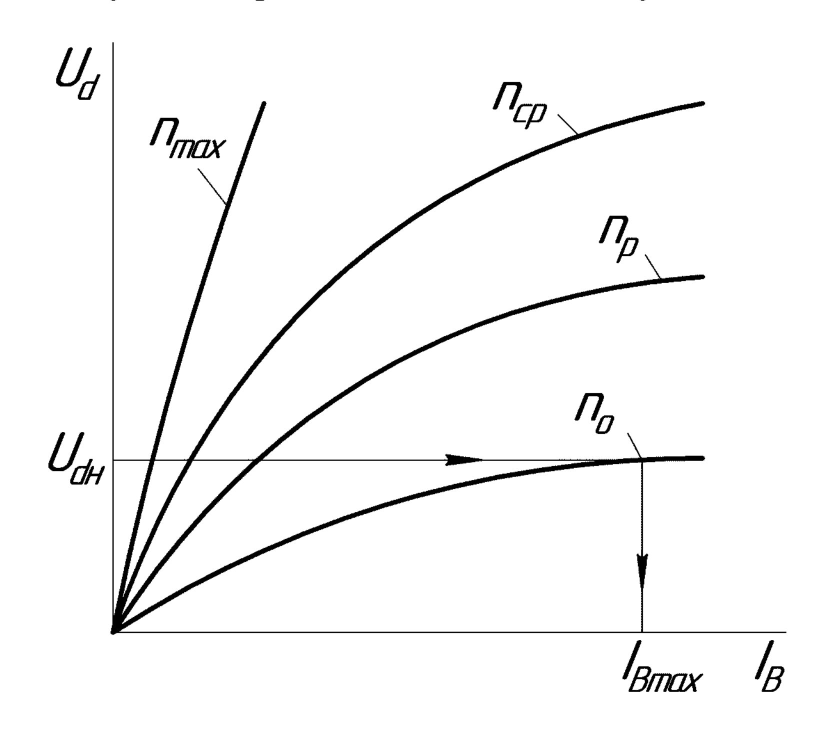


Рисунок 7 – Характеристики холостого хода вентильного генератора: $n_{\max}$, n_{CP}, n_P, n_o – частота вращения ротора соответственно максимальная, средняя, расчетная и начала отдачи; $U_{dн}$ – выпрямленное номинальное напряжение

Внешние характеристики вентильных генераторов представляют собой зависимости выпрямительного напряжения U_d (рис. 8) от силы тока нагрузки I_d при постоянных частоте вращения ротора, напряжении на выводах обмотки возбуждения и ее сопротивлении. При увеличении нагрузки выпрямленное напряжение падает под действием реакции якоря в результате уменьшения напряжения в цепи статора (якоря) и в выпрямителе, причем падение напряжения в обмотках статора значительно и зависти от частоты вращения ротора.

Внешние характеристики вентильных генераторов определяются при самовозбуждении и независимом возбуждении. Снижение напряжения при увеличении нагрузки происходит не только на активном, но и на индуктивном сопротивлениях обмоток статора. В случае самовозбуждения вентильного генератора падает напряжение на самой обмотке возбуждения, размагничи-

вающее действие реакции якоря уменьшает магнитный поток в рабочем воздушном зазоре между ротором и статором.

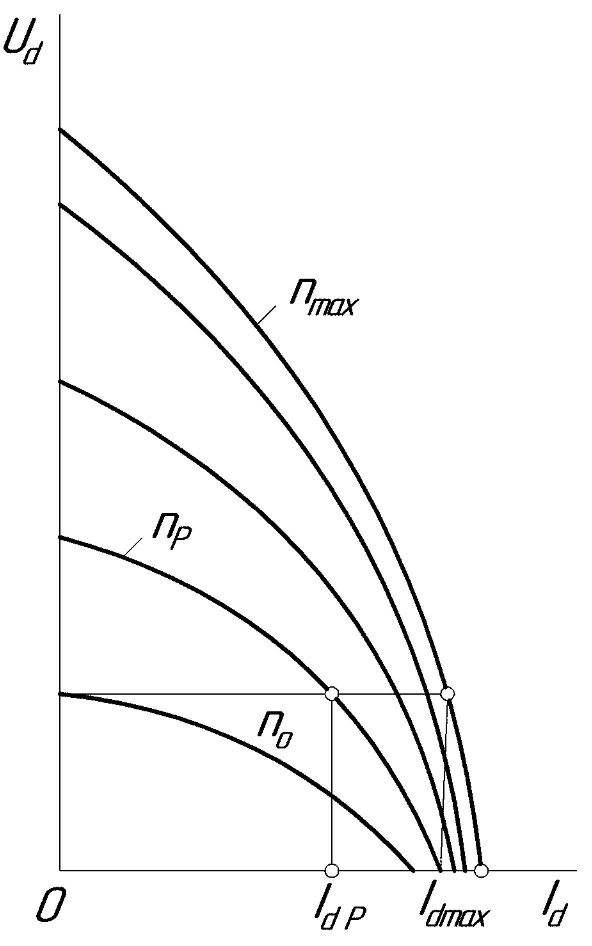


Рисунок 8 – Внешние характеристики вентильных генераторов: I_{dP}, $I_{d\max}$ – соответственно расчетное и максимальное значения силы тока нагрузки

По семейству внешних характеристик определяется максимальная сила тока $I_{d\max}$, которая создается при заданном или регулируемом значении напряжения.

Скоростная регулировочная характеристика (рис. 9а) вентильного генератора представляет собой зависимость силы тока возбуждения $I_в$ от частоты вращения ротора при постоянном напряжении вентильного генератора. Обычно она определяется при нескольких значениях силы тока нагрузки.

Минимальная сила тока возбуждения определяется при силе тока нагрузки, равной нулю, и максимальной частоте вращения ротора вентилятора генератора. Скоростные регулировочные характеристики позволяют определить диапазон изменения силы

тока возбуждения от изменения нагрузки при постоянном напряжении.

При увеличении частоты вращения ротора n вентильного генератора сила тока $I_в$ возбуждения должна уменьшаться (рис. 9*а*), а при увеличении силы тока нагрузки – возрастать (рис. 9*б*).

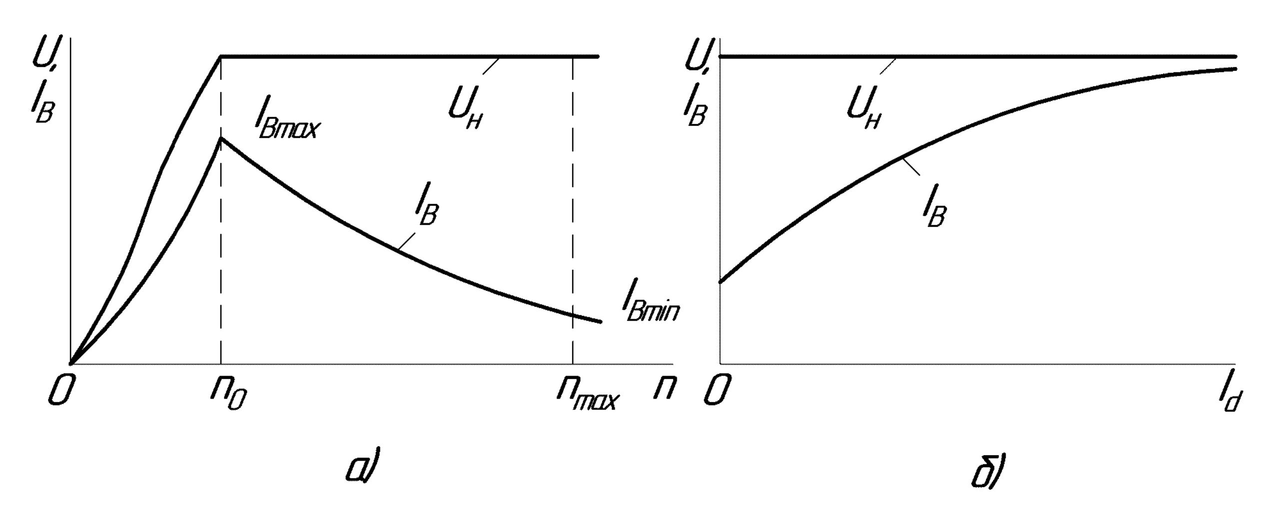


Рисунок 9 – Зависимости напряжения генератора и силы тока возбуждения: а) – от частоты вращения ротора; б) – от силы тока нагрузки; $U_н$ – номинальное напряжение

Напряжение генератора необходимо поддерживать постоянным в диапазоне частот вращения ротора от n_0 до $n_{\max}$, при этом сила тока возбуждения будет меняться от максимального $I_{B\max}$ до минимального $I_{B\min}$ значения. Кратность регулирования по частоте вращения ротора для автомобильных регуляторов составляет 6 – 8, а скорость регулирования по току возбуждения $к_I = \frac{I_{B\max}}{I_{B\min}}$ равна 15 – 20.

Кратность регулирования по силе тока возбуждения больше кратности регулирования по частоте вращения ротора. Это происходит потому, что характеристика намагничивания вентильного генератора имеет нелинейный характер. Обычно у вентильных генераторов возникает глубокое насыщение магнитной цепи. Наибольшая кратность регулирования по току возбуждения возможна в режиме холостого хода.

В связи с непрерывным изменением режима движения автомобиля а, следовательно, частоты вращения ротора и нагрузки вентильного генератора важной является токоскоростная харак-

теристика – зависимость силы тока I_d, которую вентильный генератор может отдавать потребителям при заданном напряжении, от частоты вращения ротора (рис. 10).

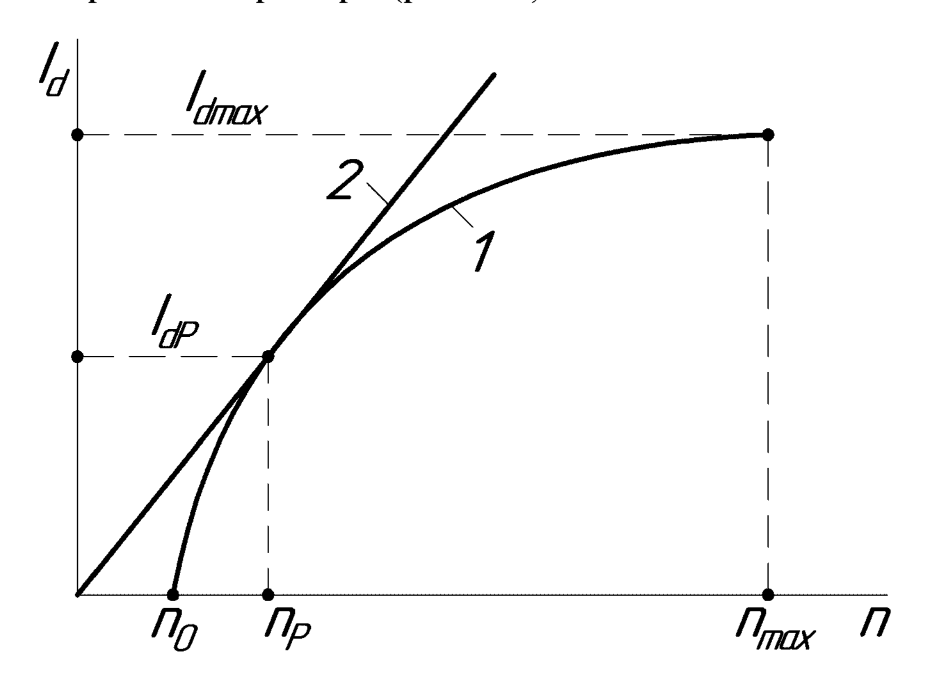


Рисунок 10 – Токоскоростная характеристика генератора

Токоскоростная характеристика снимается при $U_d = const$ и $I_B = const$. Контрольными являются значения начальной частоты n_0 отдачи генератора, расчетная частота вращения ротора n_P и соответствующая ей расчетная сила тока I_{dP} и максимальная сила тока $I_{d\max}$ при $n_{\max}$. Расчетные частоты вращения ротора n_P и сила тока I_{dP} определяются в точке касания токоскоростной характеристики **1** и прямой **2**, проведенной из начала координат. Этой точке соответствует максимальное значение отношения расчетной мощности P_{dP} к расчетной частоте вращения ротора n_P (режим максимального нагрева вентильного генератора).

Токоскоростная характеристика используется при разработке или выборе вентильного генератора. Она может быть определена при независимом возбуждении, самовозбуждении и работе вентильного генератора с регулятором напряжения.

Все современные автомобильные генераторы обладают свойством самоограничения силы максимального тока. В большом диапазоне частот вращения ротора сила тока возрастает медленно, а при максимальной частоте вращения ротора не пре-

вышает заданного максимального значения. Это связано с тем, что с ростом частоты вращения ротора генератора, а следовательно, с ростом частоты индуктируемого в обмотке статора тока повышается индуктивное сопротивление обмотки, поэтому сила тока увеличивается медленнее, асимптотически стремясь к некоторому предельному значению.

К параметрам вентильного генератора также относятся номинальные мощность и сила вырабатываемого тока при частоте вращения ротора 6000 мин$^{-1}$.

Вентильный генератор проектируется таким образом, чтобы нагрев его обмоток, подшипников и полупроводниковых элементов при номинальной силе тока (номинальной мощности) был бы не опасен. Узлы генератора нагреваются больше при силе тока, составляющей примерно 2/3 номинального значения. Это объясняется тем, что с увеличением частоты вращения ротора одновременно возрастает интенсивность охлаждения вентильного генератора вентилятором, расположенным на его валу.

Самоограничение силы тока проявляется в меньшей степени при увеличении значения n_0. С уменьшением значений n_0, n_P и ростом значения $I_{d\max}$ улучшаются условия обеспечения положительного зарядного баланса на автомобиле, однако при этом увеличивается масса и габаритные размеры генератора.

Благодаря самоограничению силы тока в системах электроснабжения с вентильными генераторами отсутствует необходимость применять ограничители силы тока.

3.5. ВЫПРЯМЛЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный ток вентильных генераторов выпрямляется кремниевыми полупроводниковыми диодами. Диоды имеют два вывода, пропускают ток только от анодного выхода к катодному, к аноду подведён положительный потенциал. В противоположном направлении диоды тока не пропускают, если обратное напряжение не превышает допустимого значения. В выпрямителях генераторов устанавливают диоды прямой и обратной полярности. У диода прямой полярности с корпусом соединён катод, а у диода обратной полярности – анод.

Технико-экономические показатели и характеристики вентильных генераторов в значительной мере определяются схемой и параметрами полупроводниковых выпрямителей. В зависимости от числа m фаз обмотки статора используются одно-, трёх- и многофазные (m>3) схемы выпрямления. Выпрямители могут быть однотактными (однополупериодными) или двухтактными (двухполупериодными). В однополупериодных схемах выпрямления ток в обмотках статора протекает только один раз за период, а в двухполупериодных – дважды (в противоположных направлениях).

Для лучшего использования вентильного генератора желательно выбирать трёхфазную мостовую двухполупериодную схему выпрямления. Благодаря высокому коэффициенту использования генератора и хорошему качеству выпрямленного напряжения трёхфазные мостовые схемы выпрямления получили наибольшее распространение в автотракторных вентильных генераторах. При числе фаз обмотки статора больше трёх их целесообразно соединять в многоугольники.

Отличительной особенностью вентильного генератора является большая, чем у коллекторных генераторов постоянного тока, амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения. Амплитуда пульсаций зависит от числа фаз генератора, выбранной схемы выпрямителя и нагрузки генератора. В тех случаях, когда не удается обеспечить допустимый уровень пульсаций за счёт правильного выбора параметров генератора и схемы выпрямителя, применяют сглаживающий фильтр.

Относительная пульсация выпрямленного напряжения находится по формуле:

$$\Delta U = \frac{U_{d\max} - U_{d\min}}{2U_{do}} \cdot 100, \qquad (20)$$

где $U_{d\max}$, $U_{d\min}$ – максимальное и минимальное значения выпрямленного напряжения, В;

U_{do} – среднее значение выпрямленного напряжения в режиме холостого хода, В.

При работе вентильного генератора под нагрузкой амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения возрастает, что связано с затягиванием процесса коммутации с закрывающегося

диода на открывающийся. При трёхфазной мостовой схеме выпрямления без сглаживающих фильтров относительная пульсация напряжения может достигать 35 %. В случае пятифазной схемы выпрямления относительная пульсация напряжения при номинальных режимах работы вентильного генератора обычно не превышает 13 %. При этом благодаря десятикратному превышению частоты основной гармоники выпрямленного напряжения самого генератора облегчается фильтрация выходного напряжения.

3.6. ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЕ БЛОКИ

В современных генераторах устанавливают выпрямители в виде блоков, соединенных с обмоткой статора генератора. Общим для всех выпрямительных блоков является то, что они собраны по мостовой схеме. На отечественных генераторах применяют выпрямительные блоки двух типов – БПВ и ВБГ. Выпрямительные блоки ВБГ можно встретить только на генераторах устаревших конструкций.

Выпрямительные блоки БПВ представляют собой две алюминиевые пластины – теплоотводы, соединенные в монолитную конструкцию через изоляционные втулки заклепками. Один теплоотвод соединен с «массой» генератора, другой изолирован от нее и соединен с выводом генератора.

Общим для всех блоков БПВ является то, что силовыми выпрямительными элементами в них являются диоды прямой и обратной полярностей, корпусы которых выполнены под запрессовку в теплоотводы. Конструкции данных диодов одинаковы, они не взаимозаменяемы, так как у диода прямой полярности (Д104-20) на корпусе расположен катод, а у диода обратной полярности (Д104-20Х) – анод.

Максимально допустимая сила прямого тока через диод – 20 А. Падение напряжения на диоде, включенном в прямом направлении при силе тока 20 А, не должно превышать 1,4 В. Максимальное обратное напряжение – 150 В, сила обратного тока при максимальном обратном напряжении должна быть не более 5 мА.

В генераторах большой мощности применяют блоки с 12 диодами, соединенными попарно-параллельно. Блок БПВ 63-100Т2 пятифазного генератора 955.3701 содержит десять силовых и пять маломощных диодов.

Дополнительные выпрямители обмоток возбуждения в блоках БПВ 11-60 и БПВ 62-100Т2 выполняются на диодах КД223А, имеющих пластмассовый цилиндрический корпус диаметром 6,2 мм, и длиной 9,65 мм и проволочные выводы диаметром 1,2 мм. Диоды размещены в пластмассовой подковке, обрамляющей конструкцию выпрямительных блоков. Некоторые типы выпрямительных блоков дополнительного выпрямителя не имеют.

Сила тока, протекающего через отдельный диод в мостовой трехфазной схеме, равна силе тока выпрямителя, деленной на число фаз. Поэтому в выпрямительных блоках БПВ 8-100, БПВ 62-100Т2 генераторов, сила тока в которых превышает 60 А, приходится применять двенадцать диодов, соединенных попарно-параллельно. Исключение составляет выпрямительный блок БПВ 34-65 генератора 16.3701, в котором, для того чтобы обеспечить повышенную силу тока – 65 А, устанавливают диоды, рассчитанные на большую допустимую силу тока.

В генераторах с выпрямительными блоками БПВ чрезвычайно опасным является короткое замыкание изолированного от «массы» теплоотвода блока на крышку случайно попавшими внутрь генератора металлическими предметами. Такое замыкание создает опасность для всей системы электрооборудования автомобиля, так как аккумуляторная батарея оказывается замкнутой накоротко внутри генератора.

Выпрямительный блок типа ВБГ имеет три литых оребренных теплоотвода, закрепленных на пластмассовом основании. В углублениях каждого теплоотвода имеются два герметичных кремниевых $p-n$ перехода, причем один соединен с теплоотводом областью p, а другой – областью n. Выводы этих переходов соединены вместе жесткими шинами, одна из которых, образуя вывод «–» выпрямителя, соединяется при монтаже на генераторе с «массой», а другая – с выводом «+» генератора. Три отверстия в

теплоотводах служат для присоединения выводов обмоток фаз статора.

Выпрямительный блок ВБГ-2А, установленный на генераторе Г502А, рассчитан на максимальную силу тока 35 А и максимальное обратное напряжение 100 В.

Контрольные вопросы

1. Из каких элементов состоит автомобильная генераторная установка?
2. На чём основан принцип действия генератора переменного тока?
3. Какие конструкции генераторов переменного тока применяются на современных автомобилях?
4. Из каких основных элементов состоит генератор переменного тока?
5. Что включает в себя магнитная система генератора?
6. Какие характеристики имеют современные вентильные генераторы?
7. За счёт чего происходит выпрямление переменного тока в генераторе?
8. Из каких элементов состоит выпрямительный блок современного генератора переменного тока?

4. РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

4.1. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

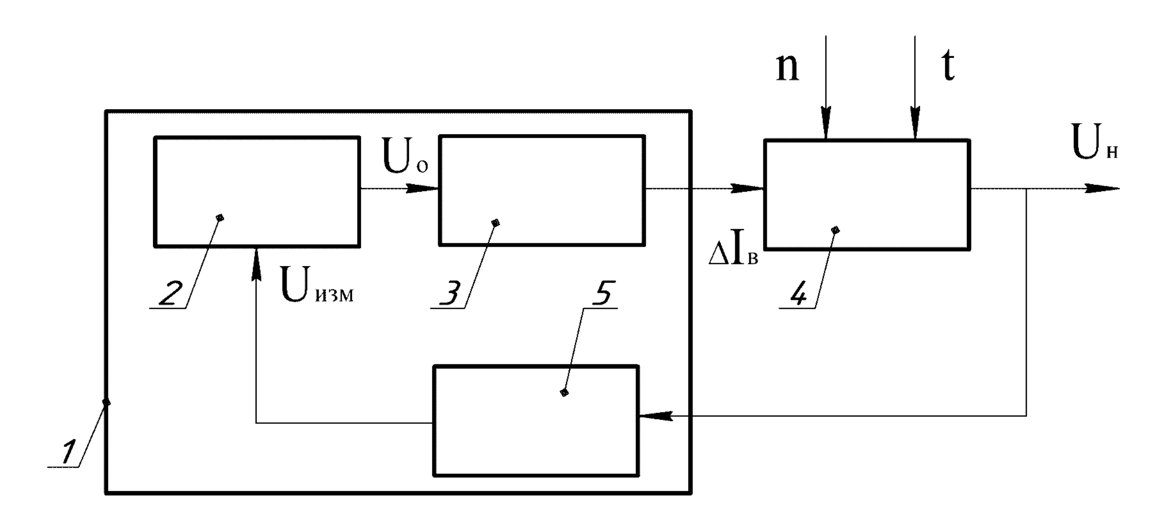
Напряжение на выходе вентильного генератора U_d регулируется изменением силы тока возбуждения. Обмотка возбуждения получает питание через регулятор напряжения от двухполупериодного силового выпрямителя или подключается к дополнительному выпрямителю.

Конструкции регуляторов напряжения, располагаемых вне генератора и соединенных с ним через провода бортовой сети, в основном идентичны.

Такие регуляторы можно разделить на две группы:

- с металлическим корпусом-крышкой;
- с пластмассовым корпусом.

Регулятор напряжения **1** (рис. 11) генератора **4** содержит элемент сравнения **2**, регулирующий **3** и измерительный **5** элементы.



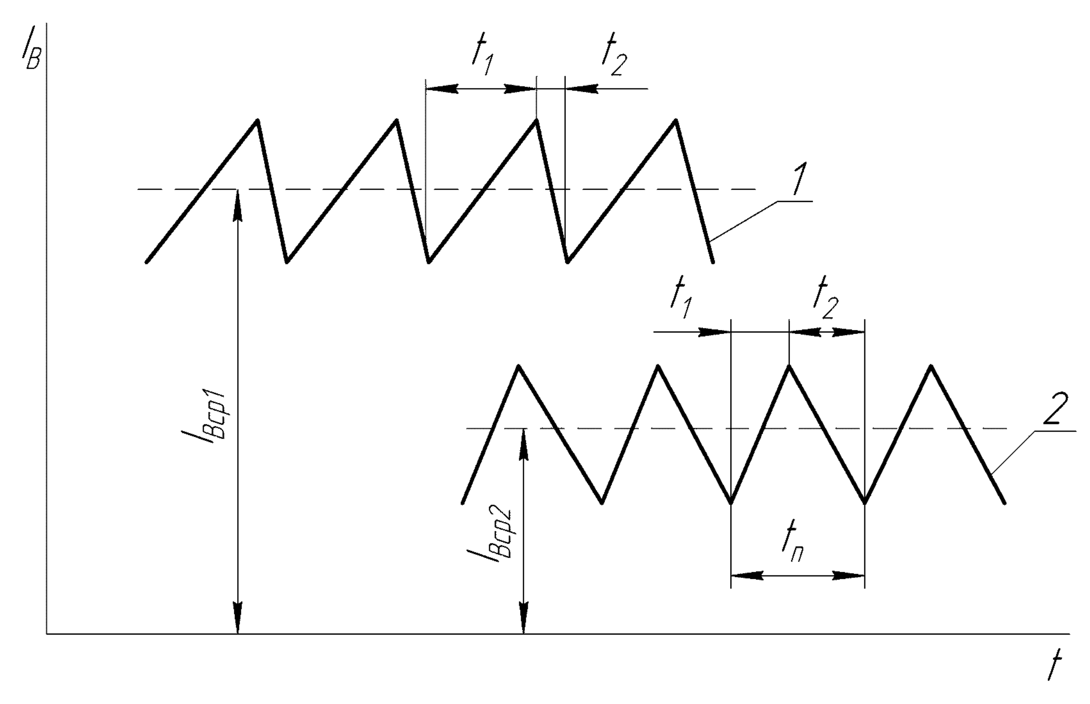
1 – регулятор напряжения; 2 – сравнивающий элемент; 3 – регулирующий элемент; 4 – генератор; 5 – измерительный элемент.

Рисунок 11 – Схема регулирования напряжения генератора

Измерительный элемент **5** преобразует напряжение генератора в сигнал $U_{изм}$, который в элементе **2** сравнивается с заданным значением напряжения. При наличии разности указанных

напряжений на вход регулирующего элемента **3** поступает сигнал U_0, который изменяет силу тока возбуждения $I_в$ на величину $\Delta I_в$ до тех пор, пока напряжение генератора не будет равно заданному значению.

На автомобилях применяют регуляторы напряжения дискретного действия. Как только напряжение генератора превышает заданный уровень, регулятор напряжения разрывает цепь электроснабжения обмотки возбуждения и вводит в эту цепь дополнительный резистор. В результате сила тока возбуждения и напряжение генератора уменьшаются (рис. 12).



1 – при меньшей частоте вращения ротора;
2 – при большой частоте вращения ротора.

Рисунок 12 – Кривые изменения силы тока возбуждения генератора во времени при различных частотах вращения ротора

При определенном нижнем уровне напряжения регулятор вновь замыкает цепь питания обмотки возбуждения, и напряжение генератора повышается. Далее процессы переключения периодически повторяются.

Частота регулируемого напряжения должна быть выше 25-30 Гц, чтобы пульсации напряжения не вызывали заметных для глаз колебаний стрелок контрольно-измерительных приборов и мигания света ламп приборов освещения и световой сигнализа-

ции. При заметном пульсировании силы тока $I_В$ возбуждения и напряжения $U_Н$ генератора их средние значения $I_{Вср}$ и $U_{Нср}$ для заданных значений частот вращения ротора и силы тока нагрузки остаются постоянными.

С увеличением частоты вращения ротора генератора ($n_{P2}>n_{P1}$) относительное время t_1 включения цепи питания обмотки возбуждения в течение периода $t_П$ уменьшается, а время t_2 отключения обмотки возбуждения от источника электроэнергии – увеличивается, поэтому среднее значение силы тока $I_{Вср}$ возбуждения, при котором стабилизируется напряжение, будет меньше ($I_{Вср2}<I_{Вср1}$). С увеличением силы тока нагрузки генератора относительное время разомкнутого состояния цепи электроснабжения обмотки возбуждения уменьшается. Включение и отключение обмоток возбуждения в электронных регуляторах обычно осуществляется выходным транзистором, соединённым последовательно с обмоткой возбуждения.

4.2. ВИБРАЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Схема вибрационного регулятора напряжения **РР380** автомобилей приведена на рисунке 13. В данном регуляторе напряжения эталонной величиной является сила натяжения пружины, отжимающей якорь реле от его сердечника. Измерительный элемент регулятора – обмотка на сердечнике магнитопровода, она воспринимает напряжение генератора.

У регулятора **РР380** имеется две пары контактов (размыкающие $KV:1$ и замыкающие $KV:2$), с помощью которых осуществляется двухступенчатое регулирование.

При замыкании контактов выключателя зажигания обмотка возбуждения через размыкающие контакты $KV:1$ регулятора снабжается электроэнергией от аккумуляторной батареи, в результате чего обеспечивается возбуждение генератора.

После пуска двигателя частота вращения ротора генератора увеличивается, напряжение возрастает. Соответственно возрастает сила тока в обмотке регулятора напряжения, магнитный поток в магнитопроводе и сила, с которой якорь электромагнита притягивается к сердечнику.

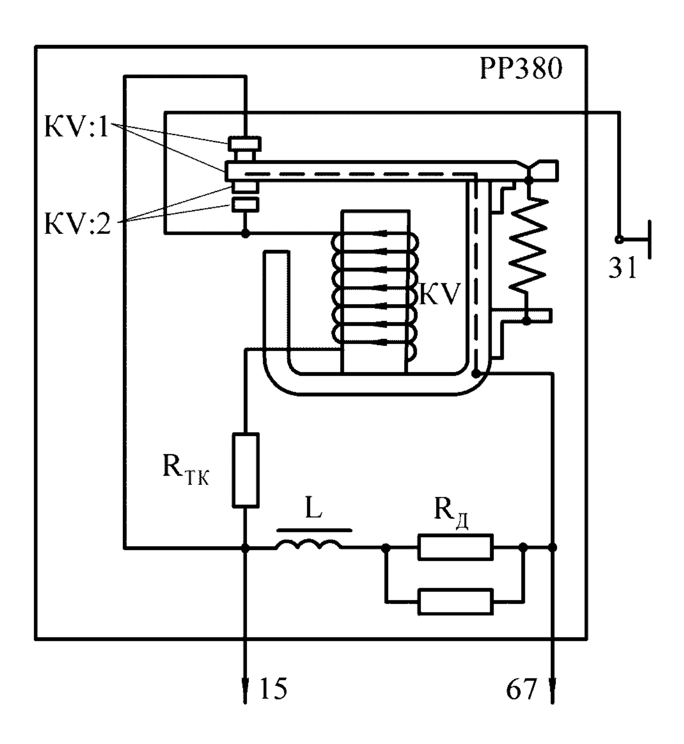


Рисунок 13 – Схема контактного регулятора напряжения РР380

Контакты $KV:1$ размыкаются, когда сила притяжения якоря к сердечнику превысит препятствующую этому силу натяжения пружины. При размыкании контактов $KV:1$ в цепь обмотки возбуждения включается добавочный резистор $R_Д$, сила тока возбуждения и напряжение генератора уменьшаются. Когда напряжение становится ниже регулируемой величины, пружина возвращает якорь в исходное положение, контакты $KV:1$ вновь замыкаются и шунтируют резистор $R_Д$. Сила тока в обмотке возбуждения возрастает, напряжение повышается. Далее процесс повторяется.

Начиная с определенной частоты вращения ротора, напряжение на выводах генератора возрастает настолько, что под действием силы притяжения якоря к сердечнику замыкаются контакты $KV:2$. Обмотка возбуждения замыкается на массу. Сила тока возбуждения и напряжение уменьшаются, пружина размыкает контакты $KV:2$, и обмотка возбуждения вновь оказывается включенной в цепь питания, что приводит к повышению напряжения генератора.

Процессы регулирования напряжения на второй и первой ступенях аналогичны. Различие состоит в том, что постоянство

напряжения на первой ступени достигается включением и выключением резистора $R_Д$ в цепи обмотки возбуждения, на второй ступени – замыканием обмотки возбуждения на массу.

Резистор $R_{ТК}$, включенный последовательно в цепь обмотки электромагнита регулятора, осуществляет его температурную компенсацию, т.е. снижает зависимость регулируемого напряжения от температуры. Резистор $R_{ТК}$ изготовлен из провода, сопротивление которого мало изменяется с изменением температуры. Термокомпенсацию обеспечивает также подвеска якоря реле на биметаллической пластине. Работу контактов облегчает катушка индуктивности L.

Настройку регулятора на нужное напряжение осуществляют изменением силы натяжения пружины при её растяжении или сжатии.

4.3. КОНТАКТНО-ТРАНЗИСТОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Основное преимущество контактно-транзисторных регуляторов перед вибрационными – больший срок службы контактных пар. В контактно-транзисторных регуляторах основной ток возбуждения повышенной силы проходит через силовой транзистор. Функция контактной пары электромагнитного реле сводится к коммутации тока управления транзистором небольшой силы, который работает в режиме ключа. Контакты электромагнита, включенные в цепь базы транзистора, выполняют функции органа управления. Чувствительным элементом регулятора напряжения является обмотка электромагнита, находящаяся под напряжением генератора.

При напряжении генератора, меньшем регулируемого, контакты замкнуты, а благодаря наличию тока базы транзистор открыт. Сопротивление цепи возбуждения определяет только сопротивление самой обмотки возбуждения. С увеличением частоты вращения ротора напряжение генератора возрастает. При напряжении генератора больше регулируемого электромагнит преодолевает сопротивление пружины, и контакты замыкаются, шунтируя переход эмиттер-база. Транзистор запирается, а сопротивление цепи возбуждения увеличивается, так как ток возбуж-

дения должен проходить через добавочный резистор. Уменьшение силы тока возбуждения вызывает уменьшение магнитного потока, ЭДС и напряжения генератора. Это в свою очередь приводит к ослаблению усилия электромагнита, и в какой-то момент контакты размыкаются. Этот процесс повторяется периодически, и напряжение генератора колеблется около заданного регулируемого напряжения.

Схема контактно-транзисторного регулятора напряжения **РР362** приведена на рисунке 14.

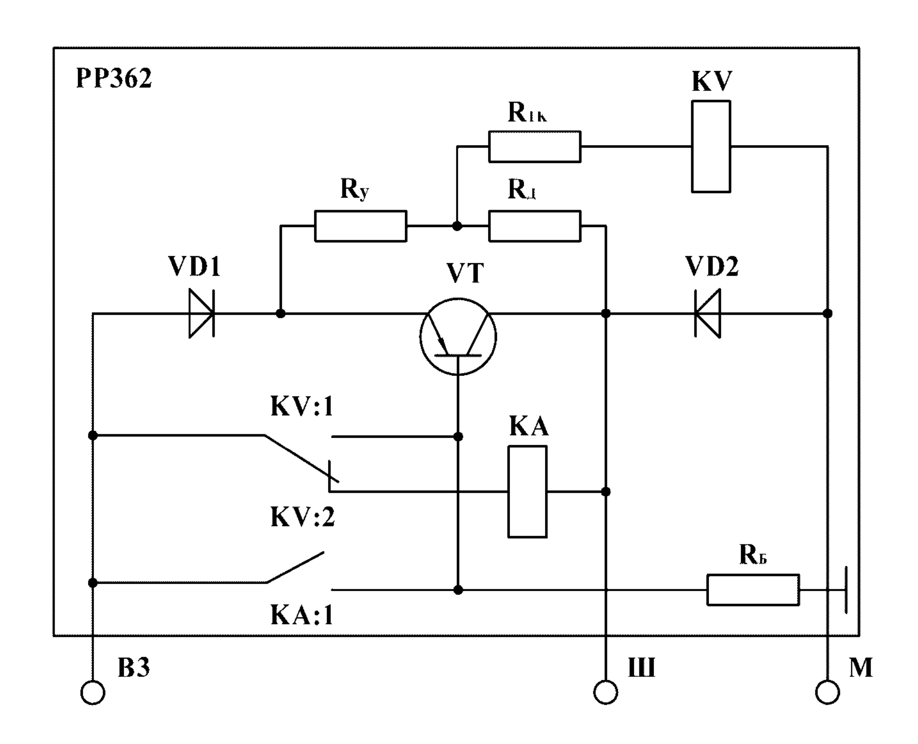


Рисунок 14 – Схема контактно-транзисторного регулятора напряжения РР362

Роль регулирующего устройства реле выполняет транзистор *VT*, который через диод *VD1* включен в цепь возбуждения. Управление транзистором осуществляет электромагнитное реле с двумя парами контактов *KV:1* и *KV:2*. Реле имеет одну основную обмотку *KV* управления, оно включено по схеме с ускоряющим и выравнивающим резисторами. Функции выравнивающего резистора выполняет диод *VD1*, который одновременно обеспечивает состояние отсечки транзистора. Необходимая степень насыщения транзистора обеспечивается подбором сопротивления $R_Б$, по которому протекает ток базы.

При включении выключателя зажигания в цепи эмиттер-база транзистора через диод смещения *VD1* и резистор цепи базы $R_Б$ начинает протекать ток от аккумуляторной батареи. Этого достаточно, чтобы транзистор *VT* открылся и к источнику электроснабжения через диод *VD1* и переход эмиттер-коллектор транзистора подключалась обмотка возбуждения. Напряжение генератора подводится к обмотке *KV* через диод *VD1*, ускоряющий резистор $R_У$ и резистор термокомпенсации $R_{ТК}$.

При возрастании напряжения с повышением частоты вращения ротора генератора замыкаются контакты *KV:2*. Переход эмиттер-база оказывается смещенным в обратном направлении (потенциал эмиттера ниже потенциала базы на величину падения напряжения в диоде *VD1*). Обратное смещение этого перехода прерывает протекание тока в цепи базы транзистора и переводит его в закрытое состояние. Ток в обмотку возбуждения протекает через ускоряющий $R_У$ и добавочный $R_В$ резисторы, что приводит к снижению силы этого тока и напряжения генератора.

Уменьшение напряжения вызывает размыкание контактов *KV:2*, отпирание транзистора *VT* и подключение обмотки возбуждения непосредственно к источнику электроснабжения. Сила тока возбуждения и напряжение генератора возрастают. Далее процесс периодически повторяется.

Ускоряющий резистор $R_У$ является элементом жесткой обратной связи. Когда транзистор *VT* находится в состоянии насыщения (открыт), через резистор $R_У$ протекает ток обмотки электромагнитного реле *KV*. При закрытом транзисторе сила тока увеличивается на величину силы тока обмотки возбуждения. Следовательно, при переходе транзистора в состояние отсечки (закрытое) падение напряжения на резисторе $R_У$ резко возрастает, что приводит к скачкообразному изменению напряжения на обмотке электромагнита *KV*. При этом сокращается время разомкнутого состояния контактов и, как следствие, повышается частота их вибрации и уменьшается амплитуда колебаний регулируемого напряжения.

Поскольку транзисторы чувствительны даже к кратковременным перегрузкам, в регуляторе **РР362** предусмотрена защита от коротких замыканий. Функции защиты выполняет электромагнитное реле с замыкающими контактами *KV:1*. Реле *KA*,

имеющее одну обмотку управления, включенную через размыкающие контакты *KV:1* и диод *VD2* параллельно транзистору *VT*, переключается в активное состояние и становится неработоспособным вследствие теплового пробоя. К основной обмотке реле *KA* защиты через замкнувшие контакты *KV:1* подается напряжение аккумуляторной батареи. Реле защиты срабатывает, замыкая контакты *KA:1*. Транзистор переключается из активного состояния в состояние отсечки. Контакты реле защиты будут замкнуты до тех пор, пока не будет устранено короткое замыкание.

4.4. БЕСКОНТАКТНЫЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР

Основу бесконтактных транзисторных регуляторов напряжения составляют транзисторные реле с эмиттерной и коллекторной обратной связью.

Регулятор напряжения **13.3702** (рис. 15), работающий в комплекте с генератором **16.3701**, имеет измерительный элемент – делитель на резисторах *R1* и *R2*. Делитель соединен с элементом сравнения – стабилитроном *VD1*. Электронное реле регулятора собрано на транзисторах *VT1*, *VT2* и *VT3*. Силовым транзистором в выходной цепи регулятора является составной транзистор *VT2*, *VT3*. Обмотка возбуждения генератора соединена с выводом «+».

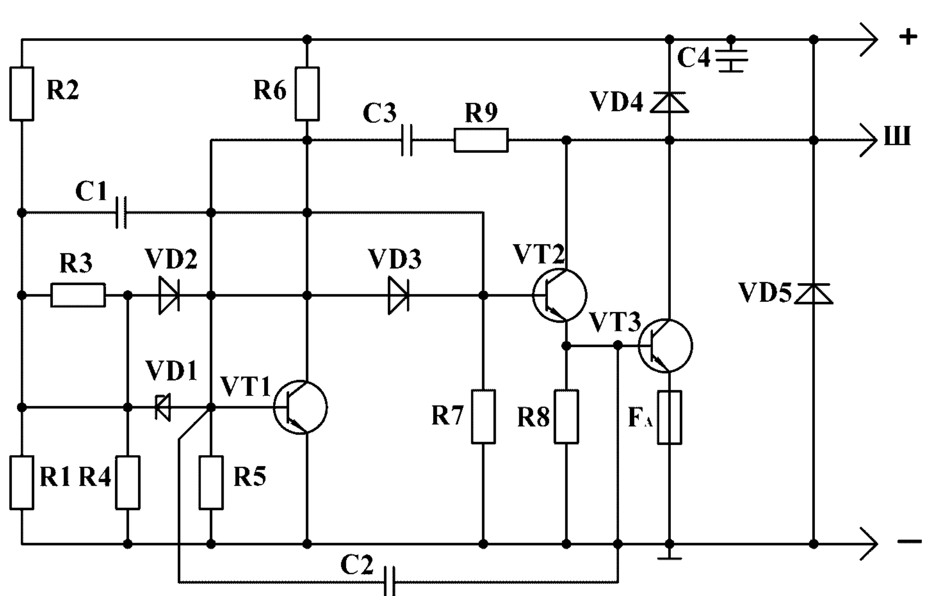


Рисунок 15 – Схема бесконтактно-транзисторного регулятора напряжения 13.3702

Цепь жесткой обратной связи состоит из резисторов *R3*, *R4* и диода *VD2*. При закрытом транзисторе *VT1* одно из плеч делителя напряжения образуется параллельно включенным резистором *R1* (он является подстроечным) и последовательно соединенными между собой резисторами *R3* и *R4*. При переходе в состояние насыщения транзистор *VT1* шунтирует совместно с диодом *VD2* резистор *R4*. Напряжение на стабилитроне резко уменьшается, что приводит к ускоренному переключению транзистора в состояние отсечки. Таким образом, цепь жесткой обратной связи повышает частоту переключения регулятора напряжения.

Гибкая обратная связь, обеспечиваемая конденсаторами *C1* и *C2*, снижает влияние электромагнитных помех, в том числе и пульсаций выпрямленного напряжения, на работу регулятора напряжения и предотвращает возможность его самовозбуждения при высокой частоте.

Гибкой обратной связью является также цепь конденсатор *C3* – резистор *R9*. Она обеспечивает ускоренное запирание транзисторов регулятора. Конденсатор *C4* фильтрует высокочастотные импульсы на входе в регулятор.

В регуляторе предусмотрены два элемента защиты. От токовых перегрузок выходной транзистор защищен предохранителем F_A, а от импульсов напряжения обратной полярности – диодом *VD5*.

4.5. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

На рисунке 16 приведена схема интегрального реле-регулятора Я112-В. В регуляторе входной делитель напряжения собран на резисторах *R1*, *R2* и *R3*. Элементом сравнения служит стабилитрон *VD1*. В выходной цепи находится составной транзистор *VT2*, *VT3*. Надежное запирание составного транзистора обеспечивает диод *VD2*. Диод *VD3* является гасящим. Гибкую обратную связь осуществляет цепь *C2* – *R7* – *C1*.

Входная цепь регулятора **Я112-В** снабжается электроэнергией через отдельный вывод «Б». Если напряжение на выводе «Б» отсутствует, то отсутствует и базовый ток составляющего транзистора *VT2*, *VT3*. Транзистор закрыт, и протекание тока в цепи обмотки возбуждения невозможно.

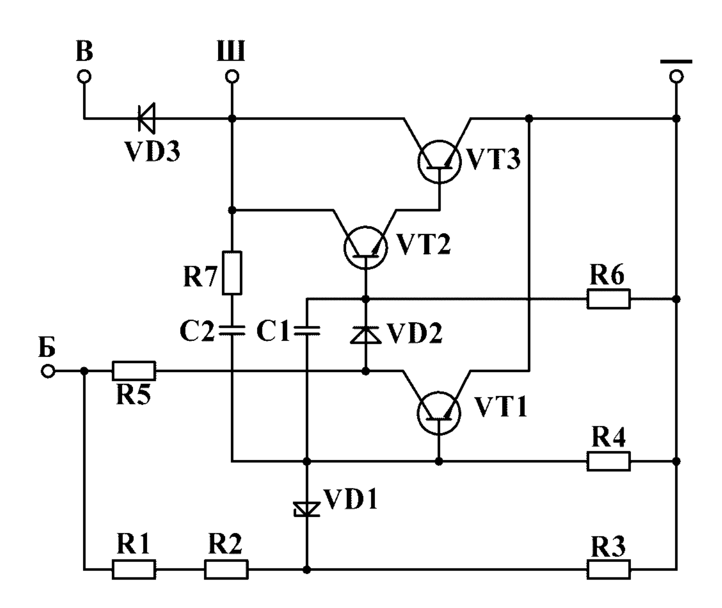


Рисунок 16 – Схема интегрального регулятора напряжения Я112-В

Если прерывание тока в цепи возбуждения при неработающем двигателе осуществляется другим путем, выводы «Б» и «В» соединены между собой перемычкой внутри регулятора и наружу выведен только вывод «В». Регулятор Я-112В используется с индукторными генераторами.

Бесконтактные и интегральные реле-регуляторы не имеют регулировок, но на отдельных моделях может изменяться величина напряжения в зависимости от сезона работы (зима – лето).

4.6. ТИРИСТОРНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Управлять тиристором в тиристорных регуляторах напряжения можно путем регулирования угла включения (с естественной коммутацией) или относительной длительности включения (с искусственной коммутацией).

Схема тиристорного регулятора напряжения с естественной коммутацией приведена на рисунке 17. Функции регулирующего органа в регуляторе выполняет тиристор *VT*2, в анодную цепь которого включена обмотка возбуждения генератора. Обмотка возбуждения шунтирована гасящим диодом *VD*3. Для обеспечения естественной коммутации транзистор подключен к генератору через однофазный двухполупериодный выпрямитель с двумя диодами силового выпрямителя генератора и двумя вспо-

могательными диодами *VD*5 и *VD*6. Для возбуждения генератора к обмотке возбуждения подается напряжение аккумуляторной батареи через резисторы *R*7 и *R*8. Условия коммутации транзистора улучшает конденсатор *C*1.

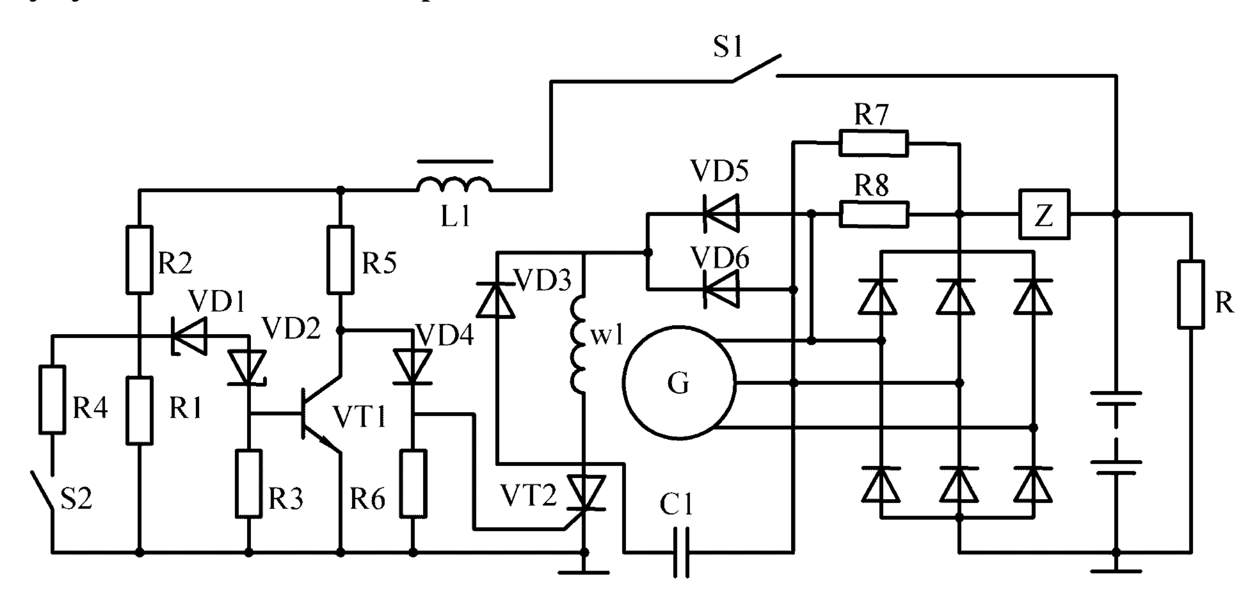


Рисунок 17 – Схема тиристорного регулятора напряжения с естественной коммутацией

Измерительное устройство состоит из усилителя постоянного напряжения на транзисторе *VT*1 и измерительной цепи с делителем напряжения *R*1, *R*2, *R*4 и стабилитронами *VD*1, *VD*2. Катушка индуктивности выполняет роль фильтра.

Напряжение к измерительному устройству подаётся при включении выключателя *S*1 зажигания. Если это напряжение ниже напряжения срабатывания электронного реле регулятора, в цепи *L*1–*R*5–*VD*4–*R*6 возникает ток, создающий падение напряжения на резисторе *R*6, достаточное для переключения тиристора в состояние насыщения. В этом случае обеспечивается возбуждение генератора. Затем по мере возрастания напряжения генератора, обмотка возбуждения переключается на электроснабжение от однофазного мостового выпрямителя.

Когда напряжение генератора достигает напряжения срабатывания, транзистор *VT*1 переключается в состояние насыщения. Напряжение на управляющем электроде тиристора резко падает и при напряжении на выходе однофазного выпрямителя, близком к нулю, тиристор переходит в состояние отсечки. Об-

мотка возбуждения отключается от источника электроснабжения. Сила тока в обмотке возбуждения и напряжение генератора уменьшаются. При выходном напряжении генератора, равном напряжению срабатывания, транзистор *VT*1 переключается в состояние отсечки, а тиристор – в состояние насыщения. Далее процессы повторяются.

4.7. УСТРОЙСТВО РЕГУЛЯТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Конструкция регуляторов напряжения, располагаемых вне генератора и соединенных с ним через провода бортовой сети, в основном идентична. Такие регуляторы можно разделить на две группы – регуляторы с металлическим корпусом-крышкой и регуляторы в пластмассовом корпусе.

При разработке полупроводниковых регуляторов напряжения учитываются особенности полупроводниковых приборов и используются современные достижения в области полупроводниковой техники, связанные с новейшей технологией изготовления – технологией интегральных схем.

Особенностью электронных изделий является блочный принцип построения конструкций. В таком случае открываются широкие возможности для унификации и стандартизации элементов, что позволяет применять в производстве прогрессивные методы обработки, сборки и монтажа с высокопроизводительным автоматизированным оборудованием.

По конструктивным признакам бесконтактные транзисторные регуляторы напряжения относятся к блокам со смешанным монтажом и навесными электрическими элементами. Монтаж платы – печатный, внутриблочный монтаж – объемный.

Основой печатной платы является листовой или фольгированный электротехнический стеклотекстолит. Фольгированный стеклотекстолит с одной или двух сторон облицован красномедной электротехнической фольгой толщиной 0,035 и 0,05 мм. На поверхность этого основания наносят печатный монтаж, выполняющий функции монтажных проводов, разъёмов и контактных деталей.

В производстве наибольшее распространение получили электрохимические, химические и комбинированные методы из-

готовления печатных плат. Электрохимический метод – гальваническое осаждение металла на диэлектрик с металлизацией отверстий. Химический метод – травление фольгированного диэлектрика с дополнительной операцией металлизации отверстий. Комбинированный метод – травление фольгированного диэлектрика с одновременной металлизацией отверстий.

Различия печатных плат, выполненных по указанным методам, заключаются в возможности размещения печатного монтажа с одной или с двух сторон и в плотности печатного монтажа.

При размещении навесных элементов (резисторов, стабилитрона, диода, катушки индуктивности) в печатном узле регулятора руководствуются следующим:

- установка элементов должна предусматривать доступ к ним и легкую их замену;
- должна быть предусмотрена возможность ручной или механизированной установки элементов, пайки и последующей защиты лаковыми покрытиями;
- элементы должны размещаться параллельно поверхности платы со стороны, противоположной размещению печатных проводников.

Встраиваемые в генераторы регуляторы напряжения выпускаются в гибридном интегральном исполнении, представляющим собой комбинацию плёночных резисторов, выполненных на керамической изоляционной подложке, с миниатюрными дискретными элементами – конденсаторами, диодами, транзисторами.

Дискретными элементами интегрального регулятора напряжения являются стабилитрон, диоды, транзистор, конденсаторы, резисторы и их соединения. Они выполнены в виде толстых плёнок, осажденных на общей подложке из керамики.

Конструкция регулятора неразборная. Пластмассовый корпус приклеен к основанию, являющемуся одновременно теплоотводом и выводом. К металлическому основанию приклеены две фольгированные стеклотекстолитовые пластинки, которые являются выводами и к которым подключаются вывод «**Ш**» обмотки возбуждения и вывод «**В**». Регулятор закрыт крышкой. Внутрен-

няя полость заполнена топливо-водостойким компаундом для защиты элементов от воздействия окружающей среды.

Гибридная технология предполагает, что резисторы выполняются на керамической пластинке и соединяются с полупроводниковыми элементами – диодами, стабилитронами, транзисторами, которые в корпусном или бескорпусном исполнении припаиваются к металлической подложке.

В регуляторе, выполненном на монокристалле кремния, вся схема размещена в этом кристалле.

Гибридные регуляторы напряжения и регуляторы на монокристалле ни разборке, ни ремонту не подлежат.

Вопросы для самоконтроля

1. По каким признакам подразделяются реле-регуляторы?
2. Какие бывают типы реле-регуляторов, в чём их преимущества и недостатки?
3. На чём основан принцип действия вибрационного регулятора?
4. На чём основан принцип действия контактно-транзисторного регулятора?
5. На чём основан принцип действия бесконтактного транзисторного регулятора?
6. На чём основан принцип действия интегрального регулятора?
7. На чём основан принцип действия тиристорного регулятора?
8. Из каких элементов состоит регулятор напряжения?

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАРТЕРЫ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СТАРТЕРОВ

Двигатель внутреннего сгорания начинает самостоятельно работать при условии, что его коленчатый вал вращается с определенной (пусковой) частотой, при которой обеспечивается нормальное протекание процессов смесеобразования, воспламенения и сгорания топлива.

Пусковая частота вращения бензиновых двигателей составляет 40-70 $мин^{-1}$. У дизелей необходимо вращать коленчатый вал с большей частотой 150-250 $мин^{-1}$, так как при медленном вращении сжимаемый воздух не нагревается до необходимой температуры, и топливо, впрыснутое в камеру сгорания, не воспламеняется.

Устройством, обеспечивающим вращение коленчатого вала с пусковой частотой, является стартер. При прокручивании двигателя стартер должен преодолеть момент сопротивления, создаваемый силами трения и компрессией, а при включении – и момент инерции вращающихся частей двигателя. Составляющие, которые определяют развиваемый стартером крутящий момент, зависят от литража и конструкции двигателя, числа цилиндров, степени сжатия, вязкости масла и частоты вращения.

Стартеры следует различать по способу управления и по принципу действия механизма привода.

По принципу действия механизма привода стартеры подразделяют на:

- стартеры с механическим включением, обеспечивающим принудительное включение шестерни привода с венцом маховика и последующее принудительное выключение их после пуска двигателя;
- стартеры с принудительным электромагнитным включением шестерни привода и последующим самовыключением ее с венцом маховика после пуска двигателя.

Структурные схемы систем управления электростартерного пуска автомобильных и тракторных двигателей отличаются

между собой незначительно (рис. 18). В системах управления стартером предусмотрены электромагнитные тяговые реле, дополнительное реле и реле блокировки, обеспечивающие дистанционное включение, автоматическое отключение стартера от аккумуляторной батареи после пуска двигателя и предотвращение включения стартера при работающем двигателе.

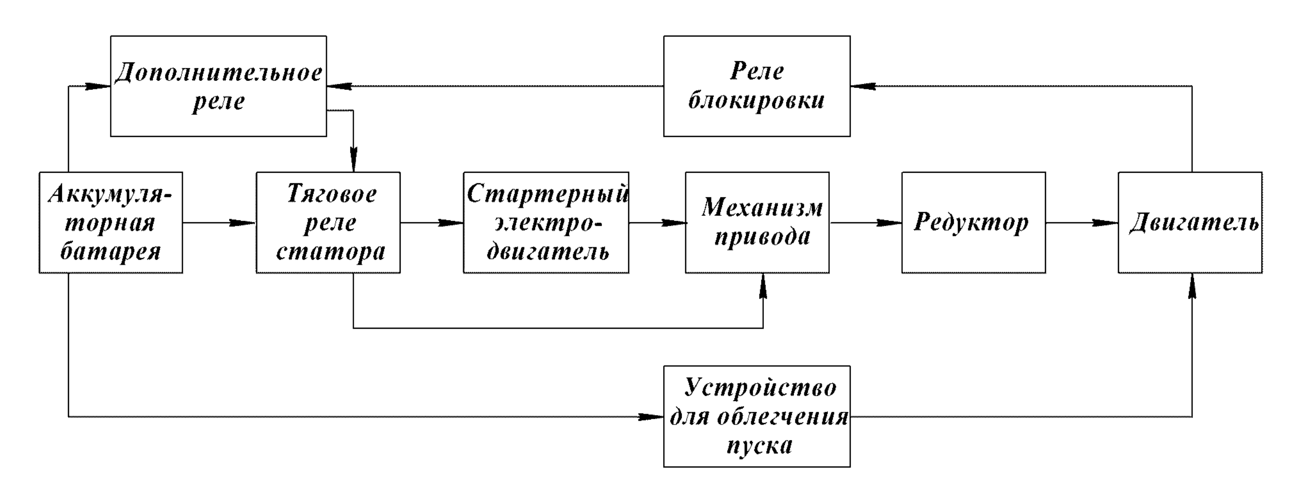
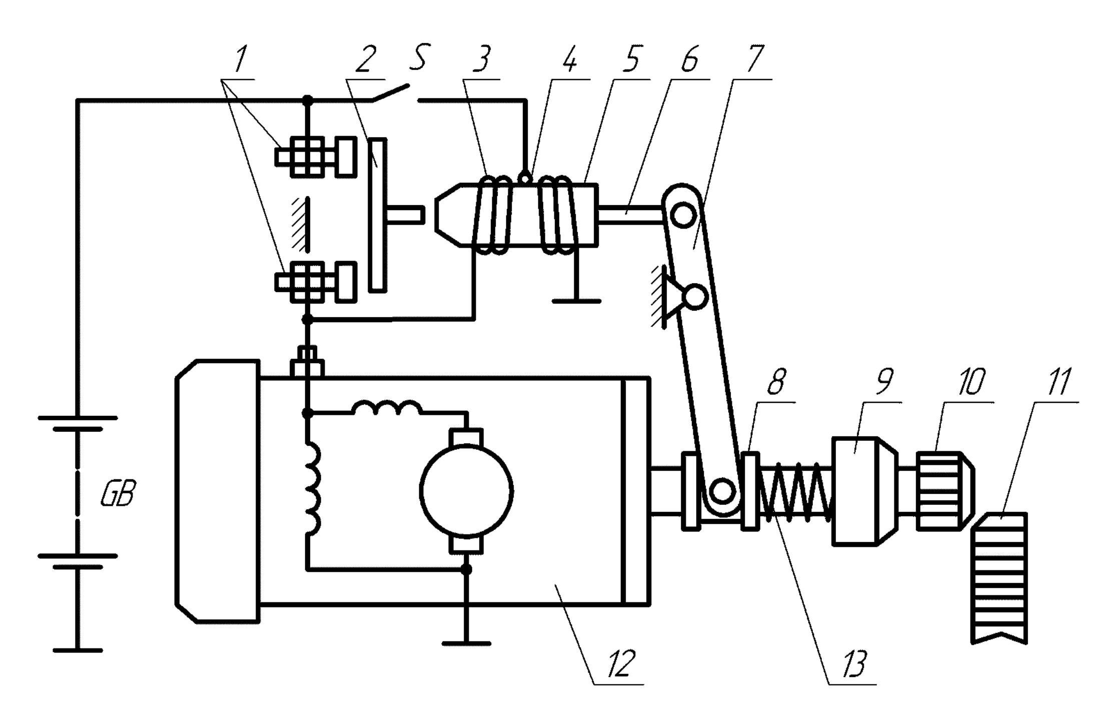


Рисунок 18 – Структурная схема системы электростартерного пуска

Источником энергии в системах электростартерного пуска является стартерная свинцовая аккумуляторная батарея (химический источник постоянного тока, поэтому в электростартерах используют электродвигатели постоянного тока). Характеристики стартерного электропривода с электродвигателями постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения хорошо согласуются с характеристиками поршневого двигателя при пуске.

Напряжение на стартерный электродвигатель подаётся от аккумуляторной батареи через замкнутые контакты **1** (рис. 19) тягового электромагнитного реле. При замыкании контактов выключателя **S** приборов и стартера, дополнительного реле или реле блокировки втягивающая **3** и удерживающая **4** обмотки тягового реле подключаются к аккумуляторной батареи **GB**. Якорь **5** тягового реле притягивается к магнитопроводу электромагнита. С помощью штока **6** и рычага **7** привода шестерня **10** входит в зацепление с зубчатым венцом **11** маховика двигателя.



1 – контакты; 2 – подвижный контактный диск; 3,4 – втягивающая и удерживающая обмотки тягового реле соответственно; 5 – якорь тягового реле; 6 – шток; 7 – рычаг привода; 8 – поводковая муфта; 9 – муфта свободного хода; 10 – шестерня; 11 – зубчатый венец маховика; 12 – электродвигатель; 13 – пружина.

Рисунок 19 – Схема управления электростартером

В конце хода якоря **5** тягового реле контактная пластина замыкает силовые контактные болты, и стартерный электродвигатель приводит во вращение коленчатый вал двигателя.

После пуска двигателя муфта **9** свободного хода предотвращает передачу вращающего момента от маховика к валу якоря электродвигателя. Шестерня привода не выходит из зацепления с венцом маховика до тех пор, пока замкнуты контакты **1**. При размыкании контактов выключателя **S** втягивающая и удерживающая обмотки тягового реле присоединяются к аккумуляторной батарее последовательно через силовые контакты.

5.2. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СТАРТЕРОВ

Электростартер получает питание от аккумуляторной батареи – автономного источника электроэнергии ограниченной мощности. Вследствие внутреннего падения напряжения в батарее напряжение на выводах электростартера не остается постоян-

ным, а уменьшается с увеличением нагрузки и силы потребляемого тока.

Сила токов электростартеров может составлять несколько сот и даже тысяч ампер. При такой силе тока на характеристики стартерного электродвигателя большое влияние оказывает падение напряжения в стартерной сети, т.е. в стартерном проводе и массе.

Характеристики стартерных электродвигателей зависят от ёмкости и технического состояния аккумуляторной батареи. Семейству вольт-амперных характеристик батареи соответствует семейство рабочих и механических характеристик стартерного электродвигателя.

Режим работы стартеров повторно-кратковременный. Пусковой цикл попытки старта не должен превышать 10 и 15 секунд соответственно для бензиновых двигателей и дизелей. Допускаются не более трёх пусковых циклов подряд с перерывами между ними не менее 30 секунд. После охлаждения стартера до температуры окружающей среды возможен ещё один пусковой цикл.

Длительное время по отношению к периоду прокручивания коленчатого вала стартер может работать в режимах полного торможения и холостого хода. Якорь стартера без повреждений должен в течение 20 секунд выдерживать нагрузки, возникающие при частоте вращения его вала, на 20 % превышающей частоту вращения вала якоря в режиме холостого хода.

5.3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СТАРТЕРАМ

К современным автотракторным электрическим стартерам предъявляются следующие требования.

1. Якорь стартера должен иметь надёжный привод к коленчатому валу при пуске двигателя и автоматически отключаться от него после осуществления пуска.

2. Конструкция стартера и зубчатая передача должны обеспечивать надёжный ввод шестерни в зацепление и передачу коленчатому валу двигателя вращающего момента.

3. Шестерня привода стартера не должна самопроизвольно входить в зацепление с венцом маховика.

4. Муфта свободного хода привода должна защищать якорь от механических повреждений.

5. Тяговое реле стартера должно обеспечивать ввод шестерни в зацепление и включение стартера при снижении напряжения до 9 В для номинального напряжения $U_H = 12$ В и до 18 В для $U_H = 24$ В при температуре окружающей среды 20 ± 5 °С.

6. Контакты тягового реле должны оставаться замкнутыми при снижении напряжения на выводах стартера до 5,4 и 10,8 В при номинальных напряжениях соответственно 12 и 24 В.

7. Не допускается нагружать стартер сверх номинальной нагрузки.

8. Повышение температуры стартера во время пусковых циклов не должно приводить к изменениям, отрицательно влияющим на его работоспособность.

Параметром, определяющим рациональное согласование мощностной характеристики пускового устройства с пусковыми характеристиками двигателя, является передаточное число привода. При изменении передаточного числа редуктора привода меняется наклон механической характеристики стартерного электродвигателя, приведенной к коленчатому валу двигателя. С повышением передаточного числа приведенный вращающий момент увеличивается, а приведенная частота вращения вала уменьшается. Максимальное значение мощности электростартера смещается в сторону меньшей частоты вращения коленчатого вала. Для каждого типа двигателя и заданных условий пуска существуют оптимальные передаточные числа, при которых лучшим образом используются мощностные характеристики стартерного электродвигателя.

5.4. КОНСТРУКЦИЯ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРОВ

Корпус стартера изготавливают из трубы или стальной полосы с последующей сваркой стыка.

С целью улучшения герметизации корпус не имеет окон для доступа к щёткам. Длина корпуса в 1,6-2,0 раза больше длины пакета якоря.

К корпусу винтами крепят полюсы с катушками обмотки возбуждения. Все автомобильные стартеры выполняют четырёхполюсными. Катушки последовательных и параллельных обмоток возбуждения устанавливают на отдельных полюсах, поэтому число катушек равно числу полюсов. Горячекатаные или штампованные полюсы стартера состоят из магнитопровода, полюсных наконечников и изготавливаются из профильной стали.

Катушки последовательной обмотки имеют небольшое число витков неизолированного медного провода прямоугольного сечения марки ПММ. Между витками катушки прокладывают электроизоляционный картон толщиной 0,2-0,4 мм. Катушки параллельной обмотки возбуждения наматывают изолированным круглым проводом марок ПЭВ-2 и ПЭТВ. Снаружи катушки изолируют лентой из изоляционного материала (хлопчатобумажная тафтяная лента, батистовая лента Б-13). Внешняя изоляция после пропитывания лаком и просушивания имеет толщину 1,0-1,5 мм.

Якорь стартера представляет собой шихтованный магнитопровод, в пазы которого укладываются секции обмотки. В шихтованном магнитопроводе потери на вихревые токи меньше. Пакет якоря напрессован на вал, вращающийся в двух или трёх опорах с бронзографитовыми подшипниками или подшипниками из порошкового материала.

Пакет якоря набирают из стальных пластин толщиной 1,0-1,2 мм. Крайние пластины пакета из электроизоляционного картона толщиной 2,5 мм предохраняют от повреждения изоляцию проводников в лобовых частях обмотки якоря.

В стартерных электродвигателях применяют простые волновые обмотки с одно- и двухвитковыми секциями. Одновитковые секции выполняют из неизолированного прямоугольного провода марки ПММ. Обмотки с двухвитковыми секциями наматывают круглыми изолированными проводами ПЭВ-2 и ПЭТВ.

Концы секций обмотки якоря укладывают в прорези петушков коллекторных пластин. Конец одной секции и начало следующей секции по ходу обмотки присоединяют к одной из коллекторных пластин.

На лобовые части обмотки якоря накладывают бандажи, состоящие из нескольких витков проволоки, хлопчатобумажного шнура или стекловолокнистого материала, намотанных на про-

кладку из электроизоляционного картона. Бандаж может быть изготовлен в виде алюминиевого кольца с изоляционной кольцевой прокладкой из гетинакса или текстолита. Лобовые части секций изолируют друг от друга изоляционным картоном.

В электростартерах применяют сборные цилиндрические коллекторы на металлической втулке, а также цилиндрические и торцевые коллекторы с пластмассовом корпусом.

Сборные цилиндрические коллекторы на металлической втулке, применяемые на стартерах большой мощности, составляют из медных пластин и изолирующих прокладок из миканита, слюдинита или слюдопласта. Пластины в коллекторе закрепляют с помощью металлических нажимных колец и изоляционных конусов по боковым опорным поверхностям. От металлической втулки, которую напрессовывают на вал якоря, медные пластины изолируют миканитовой цилиндрической втулкой.

В цилиндрических коллекторах с пластмассовым корпусом пластмасса является формирующим элементом коллектора, плотно охватывает сопрягаемые поверхности независимо от конфигурации и точности изготовления коллекторных пластин, изолирует коллекторные пластины от вала и воспринимает нагрузки. В качестве пресс-материала чаще всего используется специальная пластмасса. Для повышения прочности коллектора применяют армировочные кольца из металла и пресс-материала. При небольших размерах коллектор может быть изготовлен из цельной цилиндрической заготовки, разрезаемой после опрессовки пластмассой на отдельные ламели.

Торцовые коллекторы по сравнению с цилиндрическими имеют меньшие размеры и металлоёмкость. Рабочая поверхность торцового коллектора находится в плоскости, перпендикулярной к оси вращения якоря. При изготовлении торцового коллектора из медной втулки формируется пластина в виде диска с отверстием, прямоугольными пазами по числу требуемых коллекторных пластин и кольцевыми выступами. Диск со стороны выступов опресовывается пластмассой. В пластмассовом корпусе прошивают внутреннее отверстие для напрессовки коллектора на вал.

В электростартерах применяют медно-графитные щётки с добавлением свинца и олова. В щётках стартеров большой мощ-

ности, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации, графита больше.

Крышки со стороны коллектора изготавливают методом литья из чугуна, стали, алюминиевого или цинкового сплава, а также штампуются из стали. Крышки могут иметь дисковую или колоколообразную форму.

5.5. ТЯГОВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Управляемые дистанционно тяговые реле обеспечивают ввод шестерни в зацепление с венцом маховика и подключают стартерный электродвигатель к аккумуляторной батареи. Они отличаются по способу крепления на стартере, числу обмоток, конструкции контактного устройства и форме стопа электромагнита.

На большинстве стартеров тяговое реле располагают на приливе крышки со стороны привода. С фланцем прилива крышки реле соединяют непосредственно или через дополнительные крепежные элементы.

Реле может иметь одну или две обмотки, намотанные на латунную втулку, в которой свободно перемещается стальной якорь, воздействующий на шток с подвижным контактным диском. Два неподвижных контакта в виде контактных болтов закрепляют в пластмассовой крышке.

В двухобмоточном реле удерживающая обмотка, рассчитанная только на удержание якоря реле в притянутом к магнитопроводу состоянии, намотана проводом меньшего сечения и имеет прямой выход на массу. Втягивающая обмотка подключена параллельно контактам реле. При включении реле она действует согласованно с удерживающей обмоткой и создаёт необходимую силу притяжения, когда зазор между якорем и магнитопроводом максимален. Во время работы стартерного электродвигателя замкнутые контакты тягового реле шунтируют втягивающую обмотку и выключают её из работы.

Тяговое реле рычагом связано с механизмом привода, расположенным на шлицевой части вала. Рычаг воздействует на привод через поводковую муфту. Его выполняют из полимерного материала или делают составным из двух штампованных стальных частей, которые соединяют клёпкой или сваркой.

Контакты тягового реле замыкаются раньше, чем шестерня привода полностью (до упора на валу якоря) войдет в зацепление. Однако как только якорь начинает вращаться, и привод начинает передавать вращающий момент коленчатому валу двигателя, в винтовых шлицах вала и шлицевой втулке муфты свободного хода возникает осевое усилие, которое перемещает шестерню до упора и удерживает её во включенном состоянии до тех пор, пока она является ведущей. В тех случаях, когда шестерня упирается в венец маховика, якорь реле, сжимая буферную пружину, продолжает двигаться и замыкает силовые контакты реле. Якорь стартера вместе с приводом начинает вращаться, и шестерня привода под действием буферной пружины и осевого усилия в винтовых шлицах входит в зацепление, как только зуб шестерни установится против впадины зубчатого венца маховика.

Шлицевое соединение вала якоря с приводом облегчает выход шестерни из зацепления. При работе двигателя маховик вращает шестерню. Направление осевого усилия в шлицах меняется, и шестерня отжимается от маховика. Однако осевого усилия в шлицах недостаточно для преодоления силы притяжения электромагнита тягового реле, поэтому шестерня остается в зацеплении до тех пока, пока водитель не отключит дополнительное реле от источника электроснабжения.

5.6. МЕХАНИЗМЫ ПРИВОДА

Наибольшее распространение в электростартерах получили бесшумные в работе и технологичные роликовые муфты свободного хода, способные при небольших размерах передавать значительные вращающие моменты. Роликовые муфты малочувствительны к загрязнению, не требуют технического обслуживания и регулирования в эксплуатации.

При включении стартерного электродвигателя наружная ведущая обойма муфты свободного хода вместе с якорем поворачивается относительно неподвижной ещё ведомой обоймы. Ролики под действием нажимных пружин и сил трения между обоймами и роликами перемещаются в узкую часть клиновидного пространства, и муфта заклинивается. Вращение от вала якоря через шлицевую втулку передаётся ведущей обойме муфты.

Для обеспечения надёжного заклинивания муфты свободного хода применяют индивидуальные и групповые прижимные устройства для роликов. К индивидуальным относятся прижимные устройства с пружинами, осуществляющими нажатие на ролики непосредственно через индивидуальные плунжеры или толкатели Г-образной формы. В муфтах свободного хода с групповыми прижимными устройствами число прижимных пружин меньше числа роликов, а заклинивание роликов между обоймами осуществляется при помощи сепараторов.

Заклинивание роликов в муфтах свободного хода с бесплунжерными прижимными устройствами происходит за счёт перемещения толкателей или сепаратора с пазами, в которых размещены ролики.

Механизм привода стартера с храповичной муфтой свободного хода обеспечивает более полное разъединение вала электродвигателя и коленчатого вала двигателя при значительно меньших нагрузках на силовые элементы муфты. Храповичная муфта состоит из корпуса, ведущего и ведомого храповиков, шестерни привода, пружины, шлицевой направляющей втулки и центробежного механизма с конической втулкой, текстолитовыми сегментами (сухариками) и направляющими штифтами для разъединения ведущего и ведомого храповиков.

Комбинированный привод электростартера обеспечивает принудительное включение и самовыключение шестерни. Он применяется на мощных стартерах типа СТ-103 напряжением 24 В. При включении стартера рычаг при помощи пальца, расположенного в лунке винтового паза, перемещает стакан в сторону маховика двигателя. Втулка стакана упирается в ведущую гайку и передвигает её вместе с шестерней по резьбе вала до ввода шестерни в зацепление. Окружной зазор в шлицевом соединении шестерни и вала допускает поворот шестерни относительно вала на один зуб. Если зубья шестерни упираются в венец маховика, ведущая гайка продолжает двигаться, сжимая пружину. За счёт усилия в шлицах гайка поворачивает шестерню до тех пор, пока она не войдёт в зацепление. В конце хода рычага замыкается цепь питания стартерного электродвигателя. Вращающий момент через шлицы вала, гайку и шестерню передается коленчатому валу двигателя. Стакан поворачивается одновременно с валом якоря и

благодаря наличию винтового паза возвращается в исходное положение, освобождая место для выхода шестерни из зацепления после пуска двигателя.

5.7. СТАРТЕРЫ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ВСТРОЕННЫМИ РЕДУКТОРАМИ И ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Редукторы, встраиваемые в стартеры, разделяются на три основных типа:

- с внешним зацеплением;
- цилиндрический с внутренним зацеплением;
- планетарный.

Редукторы выполняются одноступенчатыми с прямозубыми шестернями. Преимущество данного редуктора – технологичность изготовления его шестеренок. К недостаткам относится увеличение высоты стартера по сравнению со стартерами без редуктора из-за смещения осей стартерного двигателя и привода на 30-50 мм.

Планетарный редуктор между приводом и валом электродвигателя состоит из внешней шестерни, закрепленной в корпусе редуктора. Технология изготовления данных редукторов сложнее, но сборка проще благодаря соосности основных узлов стартера.

Внешняя шестерня изготавливается из пластмассы (полиамид 66, иногда с добавками графита) или методом порошковой металлургии. Сателлиты, прессованные из порошка, вращаются на осях в подшипниках скольжения или в игольчатых подшипниках. Ось сателлита одновременно является внутренней обоймой игольчатого подшипника. Центральная зубчатая шестерня выполняется как одно целое с валом якоря или может быть съёмной. Для получения минимальных механических потерь и обеспечения высокого срока службы предъявляются повышенные требования к точности изготовления шестерен и других деталей редукторов. С этой же целью применяют высококачественные смазочные материалы. Передаточное отношение редуктора обычно составляет 3-5.

Якорь стартера с редуктором имеет конструктивные особенности. Обмотка якоря пропитана компаундом, уменьшающим вероятность его разноса. В связи с повышенной частотой вращения якорь обязательно подвергается динамической балансировке. Для снижения потерь на гистерезис и вихревые токи пакет якоря собирают из пластин тонколистовой (толщина 0,5 мм) электротехнической стали.

Стартер с планетарным редуктором имеет электромагнитное возбуждение, а отдельные современные стартеры мощностью 1,0-2,0 кВт – возбуждение от постоянных магнитов. Используются постоянные магниты из феррита стронция, которые имеют повышенную коэрцитивную силу по сравнению с магнитами из феррита бария. Повышенная коэрцитивная сила увеличивает стойкость магнитов против размагничивания реакцией якоря в момент включения стартера, когда действует сила тока короткого замыкания. Для повышения стойкости к размагничиванию применяют специальную обработку сбегающего участка магнита, приводящую к дополнительному местному повышению коэрцитивной силы, увеличивают число полюсов до шести или применяют экранирование сбегающей части полюса магнитным шунтом, замыкающим часть магнитного потока якоря и др.

Масса стартера на 30-50 % меньше массы стартеров обычной конструкции, что достигнуто за счёт роста частоты вращения вала электродвигателя в 3-5 раз. Однако встраиваемый редуктор несколько увеличивает длину по оси стартера. Для ограничения длины применяют укороченный привод, в котором функцию буферной пружины выполняет пружинный рычаг, или располагают буферную пружину в тяговом реле стартера.

При мощности до 1,0 кВт редуктор в стартер встраивают редко, так как усложнение конструкции не компенсируется малым снижением металлоёмкости. Стартеры такой мощности выполняются с возбуждением от постоянных ферростронциевых магнитов.

В настоящее время появились стартеры с возбуждением от постоянных магнитов высоких энергий, изготовленных на базе сплава железо-неодим-бор. Данные магниты имеют название «Магнаквенч». Стартер без редуктора с магнитами из сплава железо-неодим-бор существенно меньше по массе и объёму старте-

ра с электромагнитным возбуждением. Энергия магнитов «Магнаквенч» находится в пределах 100-290 кДж/м^3, тогда как у магнитов из феррита стронция – 22-30 кДж/м^3. Сплав железо-неодим-бор дорогостоящий, оксидируется на воздухе, восприимчив к воздействию температуры. Для предотвращения оксидирования изготавливают эпоксидно-клееные магниты, в которых зерна сплава обволакиваются компаундом, герметически изолирующим их от воздействия окружающей среды.

5.8. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРОВ

Свойства электростартеров оценивают по рабочим и механическим характеристикам. Рабочие характеристики представляют в виде зависимостей напряжения на зажимах стартера $U_{СТ}$, полезной мощности P_2 на валу, полезного вращающего момента M_2, частоты вращения якоря $n_Я$ и КПД стартерного электродвигателя $\eta_{СТ}$ от силы тока якоря $I_Я$ (рис. 20).

При вращении якоря в его обмотке индуктируется ЭДС, которая вычисляется по формуле:

$$E_Я = c_e n_Я \Phi, \qquad (21)$$

где c_e – постоянная электрической машины, не зависящая от режима её работы;

Φ – магнитный поток, проходящий через воздушный зазор и якорь электродвигателя.

При электроснабжении стартера от аккумуляторной батареи ЭДС определяется по формуле:

$$E_Я = U_Н - \Delta U_Щ - I_Я R_{Я\sum} = U_Н - \Delta U_Щ - I_Я (R_Б + R_{ПР} + R_Я + R_{СТ}), \qquad (22)$$

где $U_Н$ – номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В;

$\Delta U_Щ$ – падение напряжения в контактах щётки-коллектор, В;

$R_{Я\sum}$ – суммарное сопротивление цепи якоря, Ом;

$R_Б$ – сопротивление аккумуляторной батареи, Ом;

$R_{ПР}$ – сопротивление стартерной сети, Ом;

$R_Я$ – сопротивление обмотки якоря электростартера, Ом;

$R_{СТ}$ – сопротивление последовательной обмотки возбуждения электростартера, Ом.

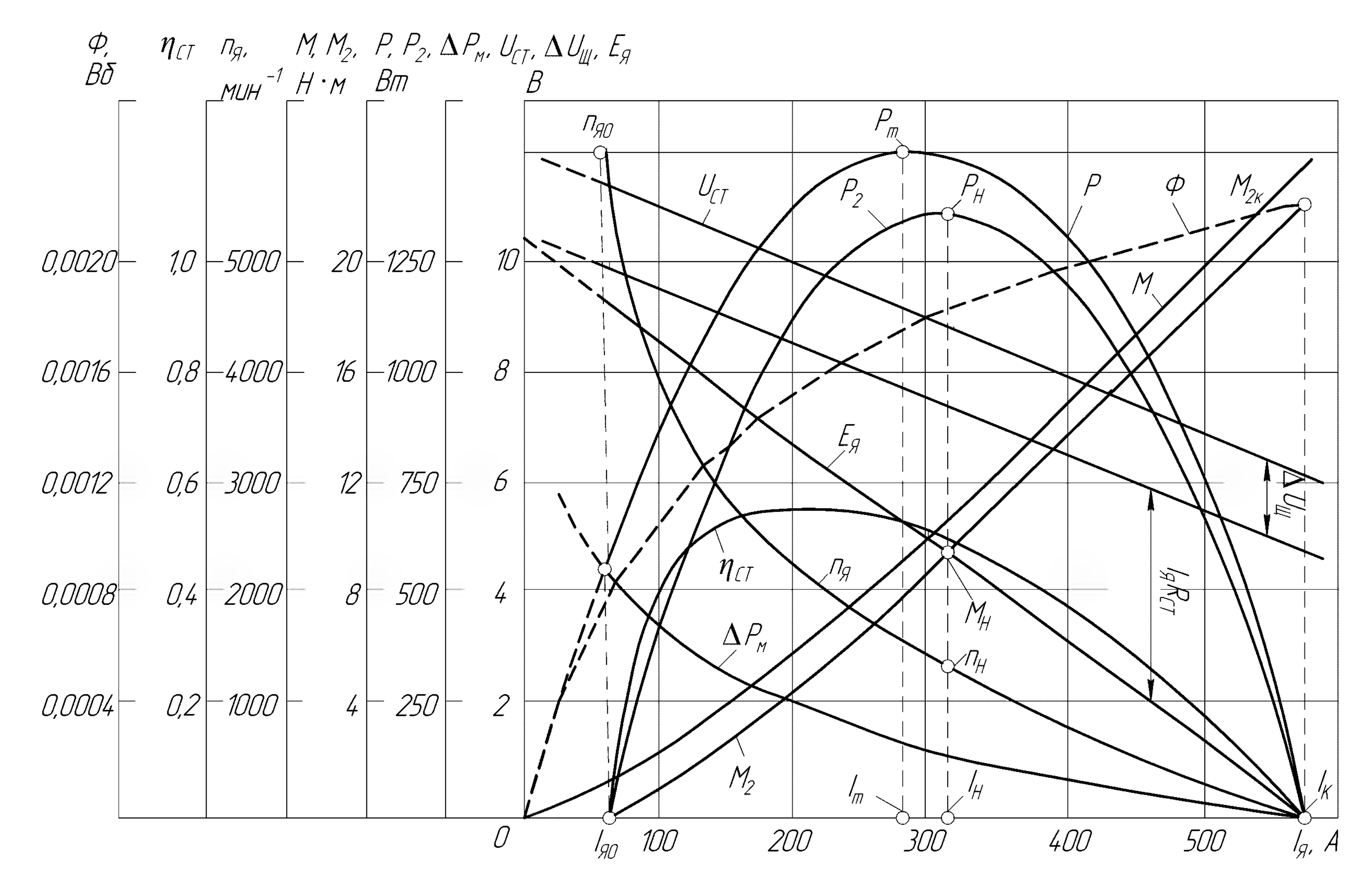


Рисунок 20 - Рабочие характеристики стартерного электродвигателя с последовательным возбуждением

С уменьшением нагрузки электродвигателя с последовательным возбуждением магнитный поток Φ падает, а $n_Я$ быстро возрастает до значения $n_{Я0}$, соответствующего силе тока холостого хода $I_{Я0}$. В стартерах смешанного возбуждения частота вращения в режиме холостого хода ограничивается магнитным потоком параллельной обмотки возбуждения.

При уменьшении нагрузки магнитный поток, создаваемый последовательной обмоткой, стремится к нулю, тогда как намагничивающая сила параллельной обмотки и создаваемый ею магнитный поток даже немного увеличиваются.

Электромагнитный вращающий момент рассчитывается по формуле:

$$M = c_M I_Я \Phi, \tag{23}$$

где c_M – постоянная электрической машины.

В электродвигателях с последовательным возбуждением через обмотку возбуждения проходит полностью ток якоря силой $I_Я$, поэтому магнитный поток возрастает с увеличением нагрузки стартера. При одинаковых номинальных параметрах электродвигателей с параллельным и последовательным возбуждением последние развивают большие полезные моменты $M_{2К}$ в режиме полного торможения. Это улучшает их тяговые свойства, облегчает трогание системы стартер-двигатель с места и раскручивание коленчатого вала при пуске двигателя в условиях низких температур.

Подводимая к стартеру мощность, исключая электрические потери, преобразуется в электромагнитную мощность. Электромагнитная или полная механическая мощность P, меньшая подводимой к стартеру мощности P_1 на величину электрических потерь, находится по формуле:

$$P = \frac{\pi n_Я M}{30} = E_Я I_Я \tag{24}$$

Максимальная электромагнитная мощность вычисляется из выражения:

$$P_{\max} = \frac{(U_Н - \Delta U_Щ)^2}{4R_{Я\sum}} \tag{25}$$

Зависимость электромагнитной мощности от силы тока представляет собой симметричную параболу с максимальным

значением при силе тока I_{max}, равной половине силы тока I_K полного торможения.

Полезная мощность P_2 на валу электродвигателя меньше электромагнитной на величину суммы ΔP_M механических потерь в подшипниках, в щёточно-коллекторном узле и магнитных потерь в пакете якоря.

Полезный вращающий момент на валу электродвигателя определяется по формуле:

$$M_2 = \frac{30P_2}{\pi n_я} \tag{26}$$

Механические характеристики электростартеров обычно представляют в виде зависимости частоты вращения якоря $n_я$ от вращающего момента M_2 (рис. 21).

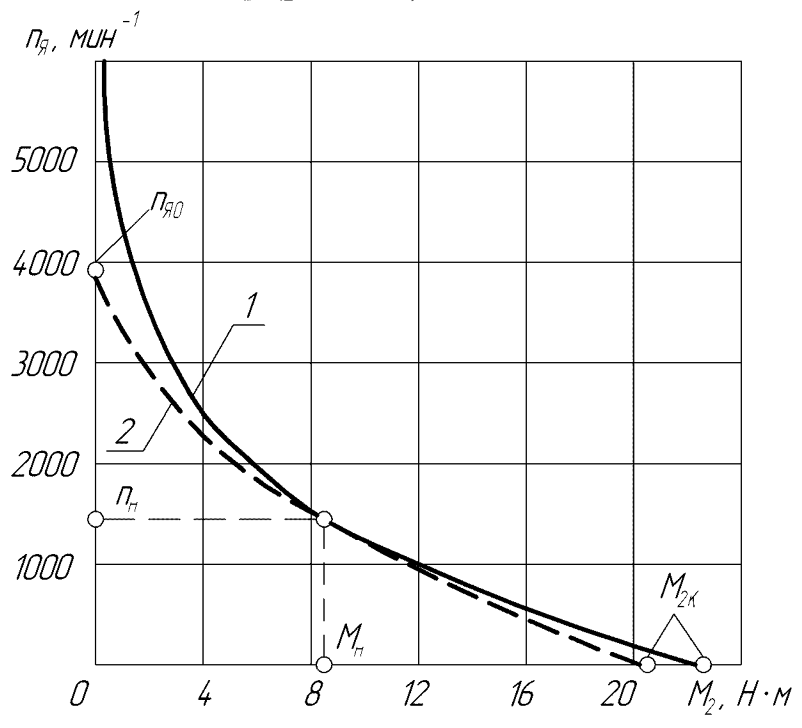


Рисунок 21 – Механические характеристики стартерных электродвигателей: 1, 2 – соответственно с последовательным и смешанным возбуждением

Сила тока, потребляемого электродвигателем со смешанным возбуждением, находится по формуле:

$$I = I_я + I_S, \tag{27}$$

где $I_S = U_{CT} / R_S$ – сила тока в параллельной обмотке возбуждения;

R_S – сопротивление параллельной обмотки возбуждения.

Подводимая к стартерному электродвигателю мощность равна:

$$P_1 = U_{CT} I \qquad (28)$$

КПД стартерного электродвигателя вычисляется по формуле:

$$\eta_{CT} = \frac{P_2}{P_1} \qquad (29)$$

При снижении напряжения на выводах аккумуляторной батареи и стартера с понижением температуры или увеличением сопротивления стартерной сети (стартерный провод и масса) при той же силе тока $I_Я$ ЭДС $E_Я$, частота вращения $n_Я$ и мощность P_2 электродвигателя уменьшаются (рис. 22).

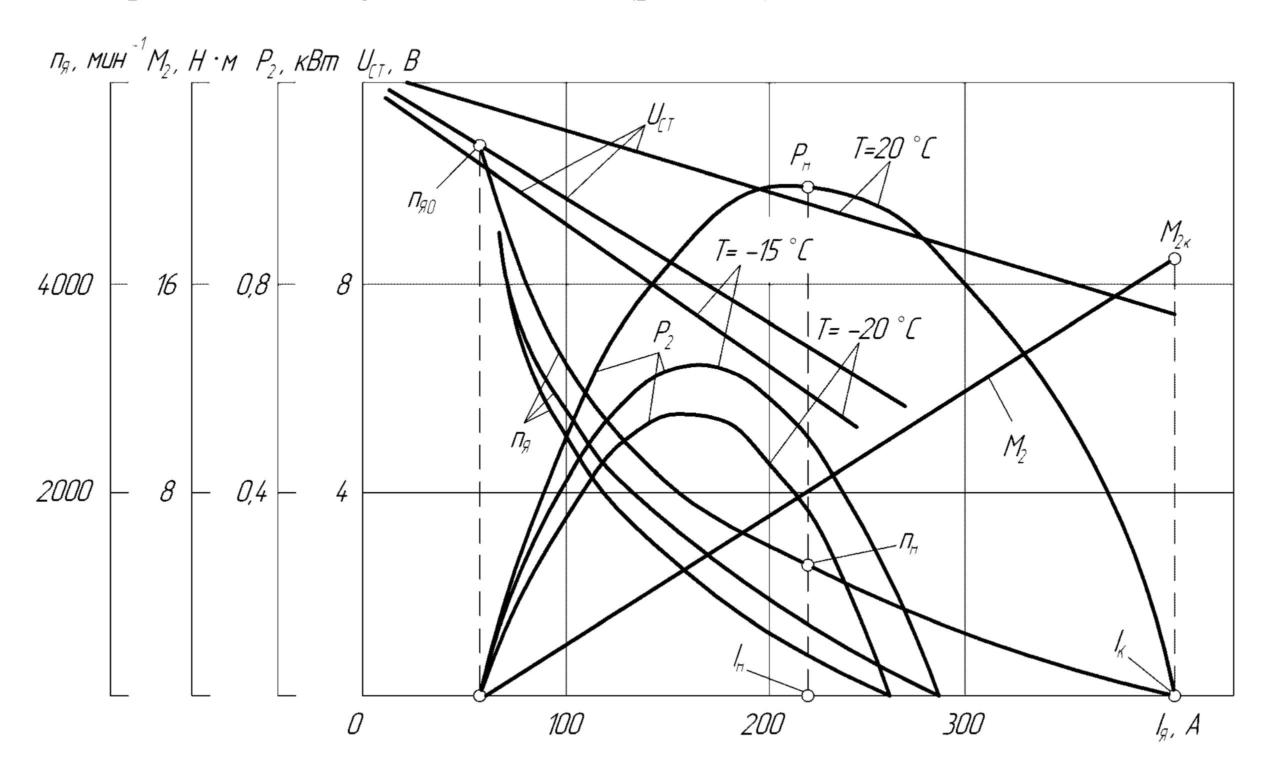


Рисунок 22 – Рабочие характеристики стартерных электродвигателей при различных температурах

При той же частоте вращения $n_Я$ уменьшается вращающий момент M_2 (рис. 23).

Номинальной считают наибольшую полезную мощность P_H в кратковременном режиме работы при электроснабжении от аккумуляторной батареи максимально допустимой ёмкости, установленной в технических условиях на стартер, при степени заряженности батареи 100 %, температуре электролита +20 °C, при

первой попытке пуска двигателя, без учёта падения напряжения в стартерной сети. Номинальной мощности соответствует сила тока I_H, частота вращения n_H и вращающий момент M_H.

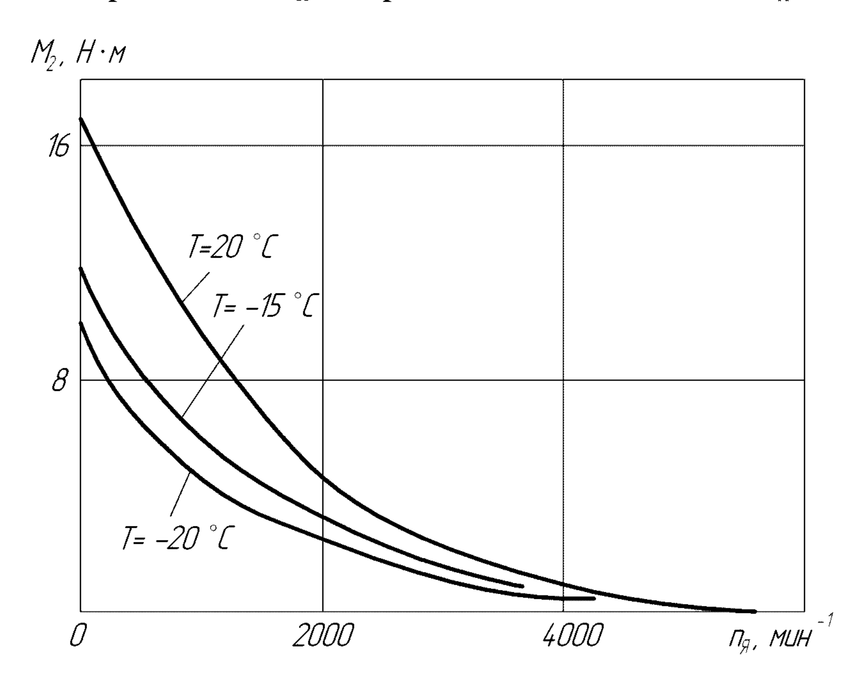


Рисунок 23 – Механические характеристики стартерных электродвигателей при различных температурах

Напряжение на выводах стартерного электродвигателя при определении номинальной мощности рассчитывается по формуле:

$$U_{CT} = U_H(1 - a_Б \frac{I_Я}{C_{20}}), \tag{30}$$

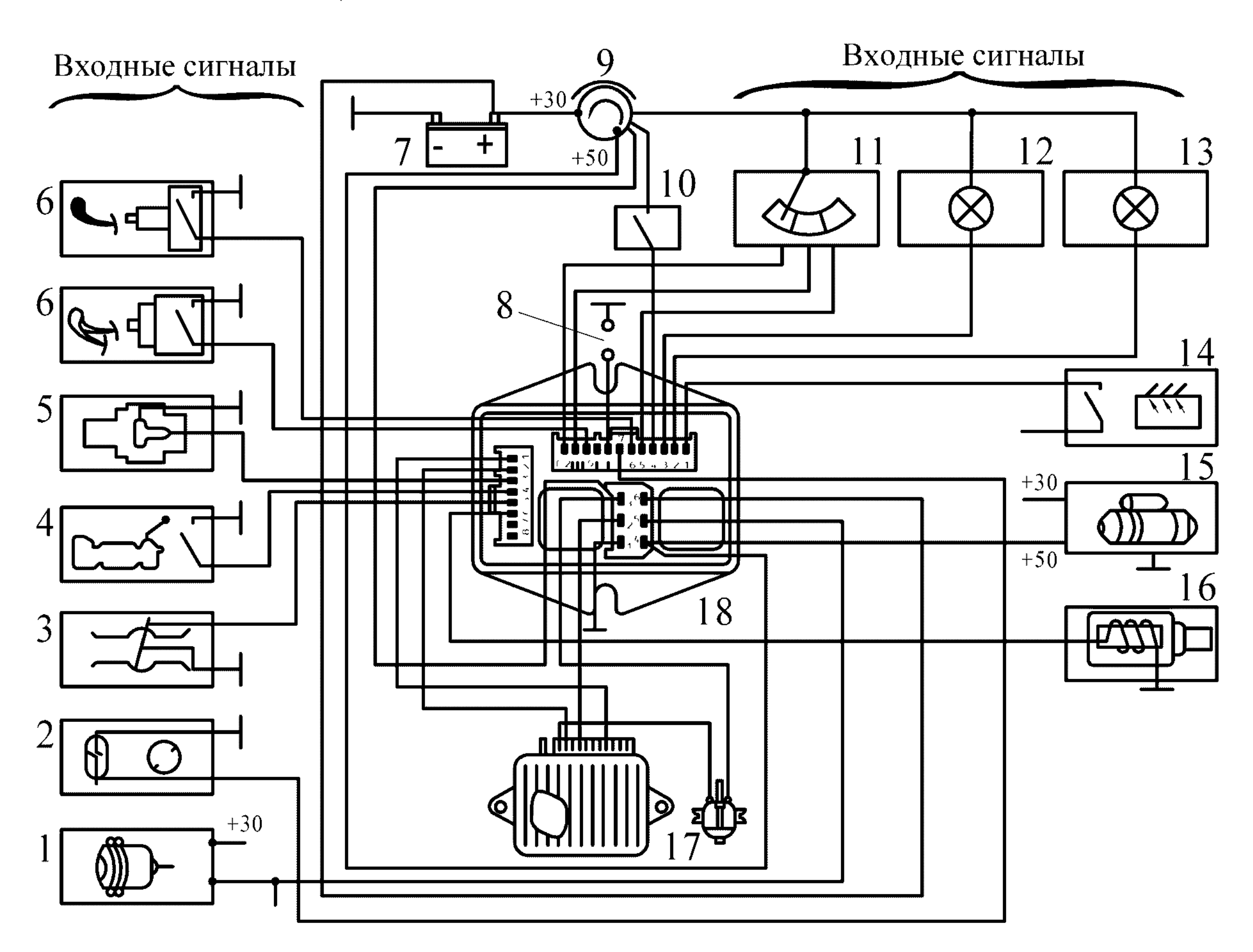
где $a_Б$ – коэффициент, принимаемый равным 0,05 для батарей емкостью C_{20}< 100 А·ч, а также 0,038 и 0,046 соответственно для батарей 6СТ-55ЭМ и 6СТ-190ТР.

5.9. СИСТЕМА «СТОП-СТАРТ»

Система «Стоп-старт» выполняет функции автоматического управления остановкой и пуском двигателя, обеспечивая дополнительную экономию топлива за счёт сокращения длительности работы двигателя в режиме холостого хода при остановке автомобиля и при медленном его движении с установленным в нейтральном положении рычагом коробки передач. Система начинает автоматически функционировать в том случае, если первона-

чальный пуск был осуществлен пусковой системой с электростартером и двигатель прогрет до температуры 65-100 °С.

Система «Стоп-старт» (рис. 24) выключает зажигание и отключает подачу топлива, останавливая двигатель, при скорости движения автомобиля менее 5 км/ч, на нейтральной передаче и выключенном сцеплении.



1 – генератор; 2 – датчик тахометра; 3 – датчик положения дроссельной заслонки; 4 – датчик нейтрального положения коробки передач; 5 – датчик температуры охлаждающей жидкости;
6 – датчик положения педали сцепления; 7 – аккумуляторная батарея; 8 – контрольные точки; 9 – выключатель зажигания;
10 – переключатель работы системы; 11 – эконометр; 12 – контрольная лампа; 13 – контрольная лампа остановки двигателя;
14 – цепь электроснабжения системы обогрева ветрового стекла;
15 – стартер; 16 – выключатель подачи топлива; 17 – катушка зажигания; 18 – блок управления.

Рисунок 24 – Схема системы «Стоп-старт»

Для продолжения движения водитель нажимает на педаль управления дроссельной заслонкой. При этом автоматически осуществляется пуск двигателя.

Стартер и цепь зажигания включаются системой «Стоп-старт» в том случае, если двигатель остановлен и с момента его остановки прошло не менее 0,6 секунды, сцепление выключено, скорость движения автомобиля менее 10 км/ч.

Функционирование системы обеспечивают датчики температуры охлаждающей жидкости, положения педали сцепления и дроссельной заслонки, рычага переключения передач и скорости движения автомобиля.

К недостаткам системы «Стоп-старт» относятся увеличение числа включений стартера и повышенное потребление энергии от аккумуляторной батареи.

Контрольные вопросы

1. Из каких основных элементов состоит система пуска?
2. По каким признакам классифицируются автотракторные стартеры?
3. Какие особенности работы присущи электрическому стартеру?
4. Какие требования предъявляются к электрическим стартерам?
5. Из каких деталей состоит электростартер?
6. Какие функции выполняет приводной механизм стартера?
7. Какие характеристики имеет электрический стартер?
8. С какой целью на автомобиль устанавливается система «стоп-старт»?

6. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

6.1. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Система зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси в цилиндрах бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Топливовоздушная смесь воспламеняется в камере сгорания двигателя за счет электрического разряда между электродами свечи зажигания, установленной в головке цилиндра. Для создания искры между электродами свечи зажигания применяют системы зажигания от магнето и батарейные системы зажигания, источниками высокого напряжения в которых являются индукционные катушки.

Система зажигания включает в себя следующие основные элементы (рис. 25):

- источник тока *ИТ*, функцию которого выполняет аккумуляторная батарея или генератор;
- выключатель *ВК* цепи электроснабжения (выключатель зажигания);
- датчик *Д*, углового положения коленчатого вала;
- регуляторы момента зажигания *РМЗ*, которые задают определенный момент подачи высокого напряжения на свечу в зависимости от частоты вращения n коленчатого вала, разряжения $\Delta p_К$;
- источник высокого напряжения *ИВН*, содержащий промежуточный накопитель энергии *НЭ* и преобразователь низкого напряжения в высокое *П*;
- силовое реле *СР*, в качестве которого могут служить механические контакты прерывателя или электронный ключ (транзистор или тиристор);
- распределитель *Р* импульсов высокого напряжения по свечам;
- помехоподавительные устройства *ПП* (экранирующие элементы системы зажигания или помехоподавительные резисторы);

- свечи зажигания *СВ*, на которые подается высокое вторичное напряжение.

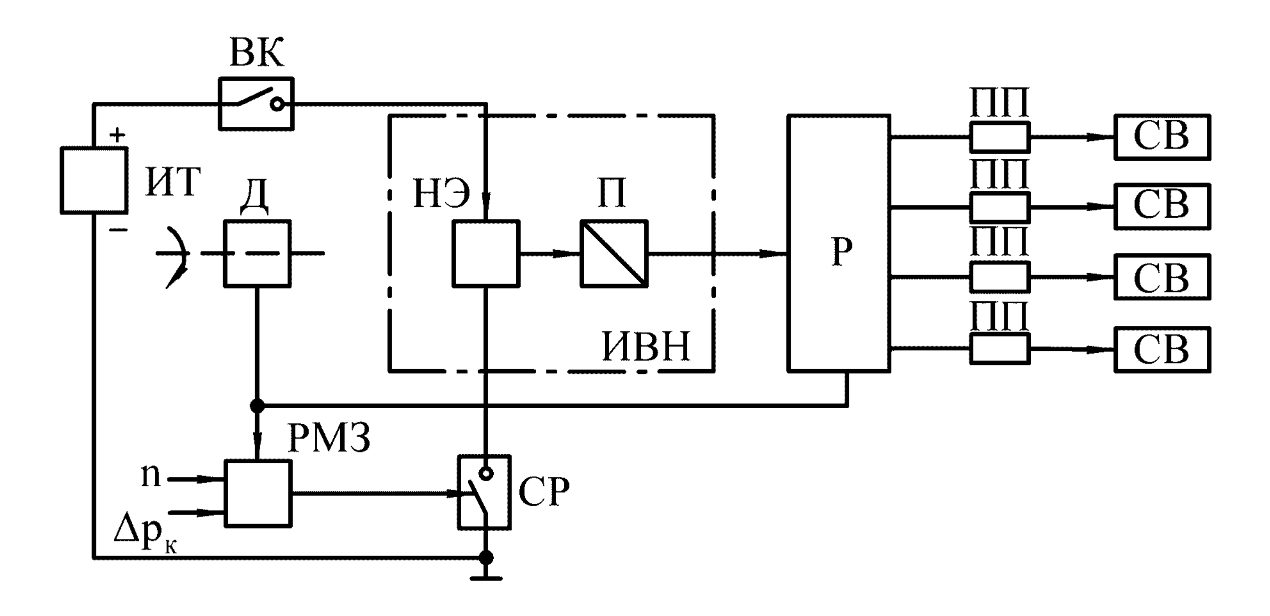


Рисунок 25 – Структурная схема батарейной системы зажигания

В батарейной системе зажигания источником энергии является аккумуляторная батарея или генератор (в зависимости от режима работы двигателя). Система зажигания от магнето принципиально отличается от батарейной тем, что источник электроэнергии в ней – магнитоэлектрический генератор, конструктивно объединенный с индукционной катушкой. Система зажигания от магнето в настоящее время на автомобилях практически не применяется, однако используется на пусковых бензиновых двигателях тракторных дизелей.

Система зажигания обеспечивает генерацию импульсов высокого напряжения в нужный момент времени на тактах сжатия в цилиндрах двигателя и их распределение по цилиндрам в соответствии с порядком их работы. Момент зажигания характеризуется углом опережения зажигания УОЗ, который представляет собой угол поворота коленчатого вала от положения в момент подачи искры до положения, когда поршень проходит через верхнюю мертвую точку.

Электрическая искра вызывает появление в ограниченном объёме топливовоздушной смеси первых активных центров, от которых начинается развитие химической реакции оксидирова-

ния топлива, сопровождающейся выделением теплоты. Процесс сгорания рабочей смеси разделяют на три фазы:

- начальная, в которой формируется пламя, вспыхнувшее от искрового разряда в свече;
- основная, в которой пламя распространяется на большую часть камеры сгорания;
- конечная, в которой пламя догорает у стенок цилиндров.

Для бесперебойного искрообразования на свечу зажигания необходимо подать напряжение до 30 кВ.

Высокий уровень напряжения обеспечивает промежуточный источник энергии. По способу накопления энергии в промежуточном источнике различают системы с накоплением энергии в магнитном поле (в индуктивности) (рис. 26) или в электрическом поле конденсатора (в ёмкости) (рис. 27).

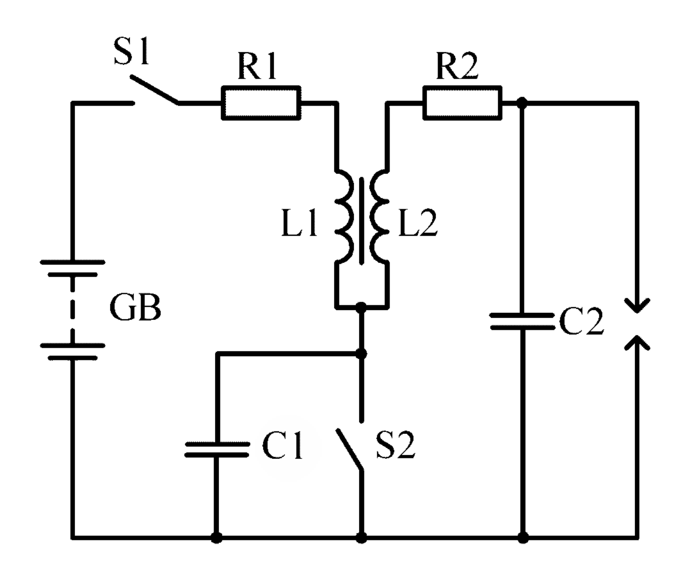


Рисунок 26 – Система зажигания с накоплением энергии в магнитном поле

В обоих случаях для получения импульса высокого напряжения используется катушка зажигания, представляющая собой трансформатор (или автотрансформатор), содержащий две обмотки: первичную $L1$ с малым числом витков и электросопротивлением в доли и единицы ома и вторичную обмотку $L2$ с большим числом витков и сопротивлением в единицы и десятки килоом.

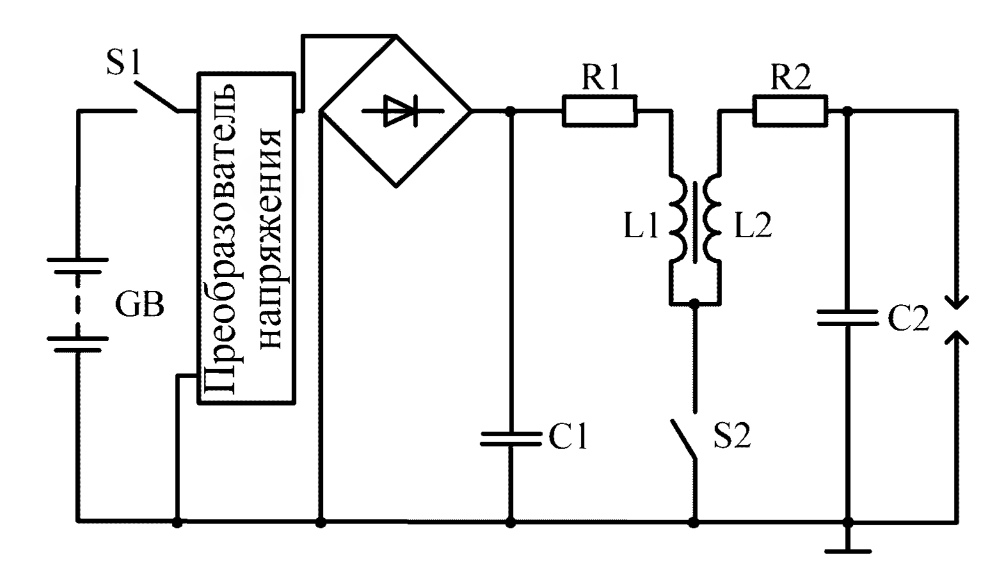


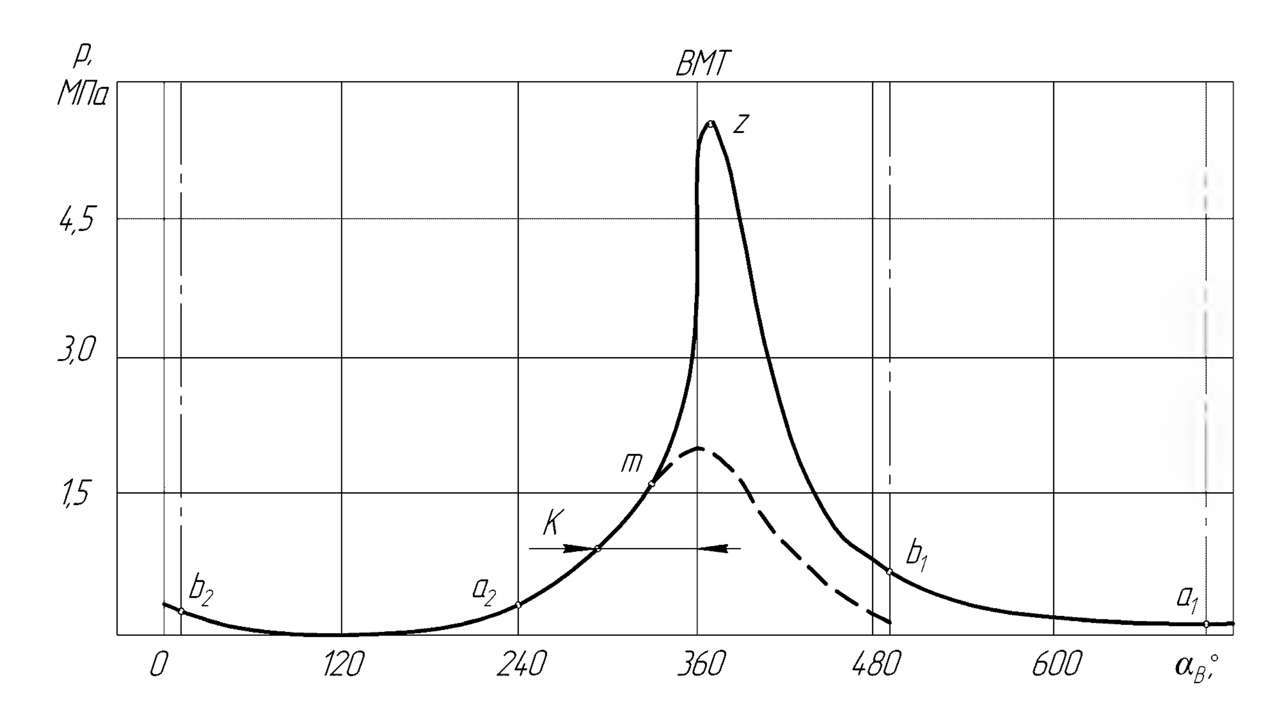
Рисунок 27 – Система зажигания с накоплением энергии в электрическом поле

Автотрансформаторная связь обмоток упрощает конструкцию и технологию изготовления катушки, а также несколько увеличивает вторичное напряжение. Коэффициент трансформации катушек зажигания находится в пределах 50-225.

В системах зажигания с накоплением энергии в катушках зажигания (в индуктивности) первичная обмотка $L1$ катушки подключается к источнику электроснабжения (на рис. 26 к аккумуляторной батарее GB) последовательно через механический или электронный прерыватель $S2$. В системах зажигания с накоплением энергии в электрическом поле конденсатора (в ёмкости) первичная обмотка катушки периодически подключается к конденсатору управляемым электронным переключателем $S2$ (рис. 27). Конденсатор предварительно заряжается от источника электроснабжения на автомобиле через статический преобразователь напряжения.

6.2. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Как видно из индикаторной диаграммы (рис. 28), для рабочих циклов двигателя характерно значительное изменение давления p в цилиндрах.



a_1 и a_2 – точки, соответствующие началу открытия и закрытия впускного клапана; b_1 и b_2 – точки, соответствующие началу открытия и закрытия выпускного клапана.

Рисунок 28 – Индикаторная диаграмма четырехтактного двигателя внутреннего сгорания

С изменением давления изменяется, и температура топливовоздушной смеси. Сжатие топливовоздушной смеси начинается после закрытия выпускного клапана в точке a_2. Если смесь не воспламеняется, то давление в цилиндре повышается до максимального значения в момент прохождения поршнем ВМТ (штриховая линия). Более резкий рост давления в цилиндре после подачи искры в точке K обусловлен воспламенением и последующим сгоранием рабочей смеси. На такте расширения за счёт теплоты, выделяемой при сгорании топлива, совершается полезная работа.

Для большинства двигателей оптимальное положение точки z на диаграмме, когда давление сгорания достигает максимального значения, составляет 12-15° угла $\varphi_в$ поворота коленчатого вала после ВМТ.

Начальная фаза сгорания топливовоздушной смеси – фаза формирования фронта пламени – соответствует участку индикаторной диаграммы от момента подачи искры в точке K до точки

m, когда давление в цилиндре в результате выделения теплоты сгорания топлива становится выше давления сжатия без подачи искры. На длительность данной фазы влияют состав смеси, степень сжатия, частота вращения коленчатого вала, нагрузка двигателя, параметры искрового разряда и другие факторы.

После окончания начальной фазы до момента, когда давление достигает максимального значения, протекает основная фаза горения, которая мало зависит от физико-химических свойств рабочей смеси. С увеличением частоты вращения коленчатого вала возрастает турбулентность смеси и длительность начальной фазы уменьшается, однако одновременно уменьшается и длительность всего цикла сгорания. Поэтому угол $\varphi_в$ поворота коленчатого вала, соответствующий основной фазе сгорания, изменяется незначительно. В течение основной фазы сгорает до 90 % рабочей смеси.

В фазе догорания сгорает рабочая смесь, находящаяся у стенок цилиндра. На длительность конечной фазы параметры искрового разряда не влияют, так как свеча находится в зоне уже полностью сгоревшей рабочей смеси.

Воспламенение топливовоздушной смеси электрической искрой происходит благодаря локальному тепловыделению (тепловая теория) или сильной ионизации газа (ионизационная теория). Температура нагрева небольшого объёма топливовоздушной смеси около электродов свечи зажигания и требуемая для воспламенения энергия искры зависят от состава смеси и степени её турбулизации, которая, в свою очередь, зависит от режимов работы двигателя и организации процессов топливоподачи рабочего заряда в цилиндры.

6.3. КЛАССИФИКАЦИЯ БАТАРЕЙНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Батарейные системы зажигания можно классифицировать по шести основным признакам (рис. 29):

- способу синхронизации подачи искры в цилиндры;
- способу регулирования угла опережения зажигания;
- способу накопления энергии;

- типу силового реле, замыкающего цепь первичной обмотки катушки зажигания;
- способу распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя;
- типу защиты от радиопомех.



Рисунок 29 – Классификация батарейных систем зажигания

В системах с накоплением энергии в электрическом поле невозможно накопить достаточную для воспламенения топливовоздушной смеси энергию в конденсаторе приемлемых размеров при низком напряжении системы электрооборудования автомобиля. Поэтому в схему такой системы зажигания вводится преобразователь напряжения, что усложняет схему и не дает существенных преимуществ, поэтому системы зажигания с накоплением энергии в электрическом поле конденсатора (в емкости) на автомобилях практически не применяются.

По способу управления системы зажигания подразделяют на **контактные** и **бесконтактные**. При контактном управлении возникают проблемы, связанные с износом, разрегулировкой контактов и их вибраций при высоких частотах вращения валика распределителя. Устранить указанные недостатки контактных систем можно применением системы зажигания с бесконтактным управлением.

УОЗ регулируются механическими и вакуумными автоматами, а также электронными системами. Механические автоматы во время эксплуатации изнашиваются, что приводит появлению погрешностей при регулировании момента искрообразования. Эффективность процесса сгорания снижается. Кроме того, механические автоматы реализуют сравнительно простые зависимости УОЗ от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя.

Системы с электронным управлением регулируют УОЗ по большому числу параметров, обеспечивая оптимальный УОЗ для различных режимов и условий работы двигателя. Способы реализации электронных систем управления могут быть аналоговыми и цифровыми. Наиболее совершенными являются цифровые системы зажигания с применением интегральных схем средней и большой степеней интеграции, а также микропроцессорные системы.

6.4. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ ЗАЖИГАНИЯ

Основные тенденции развития автомобильных бензиновых двигателей:

- повышение экономичности;
- снижение токсичности отработавших газов;
- увеличение удельной мощности;
- повышение частоты вращения коленчатого вала и степени сжатия;
- уменьшение затрат времени и трудоемкости при техническом обслуживании в эксплуатации.

Все перечисленные тенденции отражаются на конструкции двигателя и его системы зажигания.

Повышение экономичности и снижение токсичности отработавших газов двигателей достигается за счет обеднения состава топливовоздушной смеси, повышения степени сжатия, совершенствования конструкций камер сгорания и впускных трубопроводов, увеличения зазора в свечах, использования близких к детонационным процессам сгорания топливовоздушной смеси.

К системам зажигания современных бензиновых двигателей предъявляются следующие требования:

- вторичное напряжение должно быть достаточным для пробоя искрового промежутка между электродами свечи зажигания и обеспечения бесперебойного искрообразования на всех режимах работы двигателя;
- энергия и длительность искрового разряда должна обеспечивать надежное воспламенение топливовоздушной смеси при пуске и на всех режимах самостоятельной работы двигателя;
- скорость нарастания вторичного напряжения должна быть достаточно высокой, чтобы обеспечить надежное искрообразование при наличии нагара и загрязнений на изоляторе свечи;
- регулирование УОЗ в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя, температуры окружающей среды и ряда других параметров должно быть автоматическим;
- электронные изделия системы зажигания должны сохранять работоспособность при возникновении в системе электрооборудования импульсных перенапряжений;
- вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания, должно с определенным запасом превышать напряжение пробоя искрового промежутка свечи;
- система зажигания должна надежно работать при ее экранировании и применении других помехоподавительных устройств.

При сравнительно низкой стоимости и простоте конструкций аппаратов зажигания классической контактной системе зажигания свойственны серьезные недостатки:

- малый запас по вторичному напряжению при низких и высоких частотах вращения коленчатого вала у многоцилиндровых двигателей;
- недостаточная энергия искрового разряда из-за ограниченной силы тока в первичной цепи катушки зажигания;
- изнашивание контактов и кулачка прерывательного механизма вследствие электрической эрозии, что приводит к асинхронизму искрообразования и необходимости систематического технического обслуживания в эксплуатации (зачистка контактов, регулирование зазора между ними);
- возможность перегрева катушки зажигания при низких частотах вращения коленчатого вала и выключенном выключателе зажигания после остановки двигателя;
- разброс характеристик центробежных и вакуумных автоматов, приводящий к существенным погрешностям регулирования момента зажигания;
- невозможность реализации сложных функций управления процессом зажигания с помощью электромеханических аппаратов.

Важнейшее требование к системе зажигания – автоматическое обеспечение заданных характеристик на всех режимах работы двигателя, включая режим пуска холодного двигателя при низких температурах. Реализация сложных законов управления процессами воспламенения и сгорания топливовоздушных смесей в цилиндрах двигателя возможна только при использовании систем зажигания с электронным регулированием УОЗ.

Для увеличения вторичного напряжения необходимо увеличивать силу тока разрыва первичной цепи катушки зажигания, что в электронных системах зажигания обеспечивается применением полупроводниковых силовых ключей. Наибольшее распространение в качестве электронных ключей нашли мощные тран-

зисторы, которые могут коммутировать токи до 10 А при индуктивной нагрузке без искрения и механических повреждений, характерных для прерывательного механизма классических контактных систем зажигания.

Основными параметрами, характеризующими систему зажигания, являются:

- коэффициент $K_з$ запаса по вторичному напряжению;
- максимальное вторичное напряжение $U_{2\max}$;
- скорость роста по времени τ вторичного напряжения dU_2/dt;
- энергия W_P искрового разряда и длительность его индуктивной составляющей;
- длина искрового промежутка между электродами δ свечи зажигания;
- момент зажигания (УОЗ θ).

6.5. КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПО ВТОРИЧНОМУ НАПРЯЖЕНИЮ

Коэффициент $K_з$ запаса по вторичному напряжению представляет собой отношение максимального вторичного напряжения U_{2m}, развиваемого системой зажигания, к напряжению пробоя $U_П$.

Напряжение пробоя по закону Пашена определяется по формуле:

$$U_П = f(\frac{p\delta}{T}), \qquad (31)$$

где f – эмпирический коэффициент;

p – давление в камере сгорания в момент искрообразования;

δ – длина искрового промежутка между электродами свечи;

T – абсолютная температура рабочей смеси в зоне искрового промежутка в момент пробоя.

Кроме того, напряжение пробоя зависит от состава топливовоздушной смеси по коэффициенту избытка воздуха α, скорости движения и степени турбулизации рабочей смеси в зоне искрового промежутка свечи, материала, формы и температуры

электродов свечи, скорости роста и полярности подаваемого на электроды вторичного напряжения.

После 1,5-2,0 тыс. км пробега автомобиля изменяется форма электродов свечи в результате электроэрозии. Электрическое поле между электродами свечи становится более равномерным, что приводит к увеличению напряжения пробоя на 20-25 %. После 2,0-2,5 тыс. км пробега автомобиля напряжение пробоя возрастает вследствие износа электродов свечи и увеличения длинны искрового промежутка. По данной причине в пределах гарантийного пробега автомобиля напряжение пробоя также может увеличиться на 20-25 %. Следовательно, за время гарантийного пробега, после которого предусматривается регулирование зазора между электродами свечи, напряжение пробоя возрастает на 40-50 %. Поэтому при проектировании системы зажигания коэффициент запаса по вторичному напряжению принимается большим 1,5 (в экранированных системах ещё больше).

Величина пробоя существенно выше при пуске холодного двигателя, так как стенки цилиндра, электроды свечи и поступающая в цилиндры топливовоздушная смесь имеет низкую температуру. Смесь плохо перемешана, имеет неиспарившиеся капли топлива, которые попадая между электродами свечи, повышают напряжение пробоя на 15-20 % или полностью исключают искрообразование.

Напряжение пробоя несколько возрастает при разгоне коленчатого вала двигателя после его пуска и в большинстве случаев уменьшается с увеличением частоты вращения коленчатого вала на рабочих режимах двигателя.

6.6. ЭНЕРГИЯ ИСКРЫ

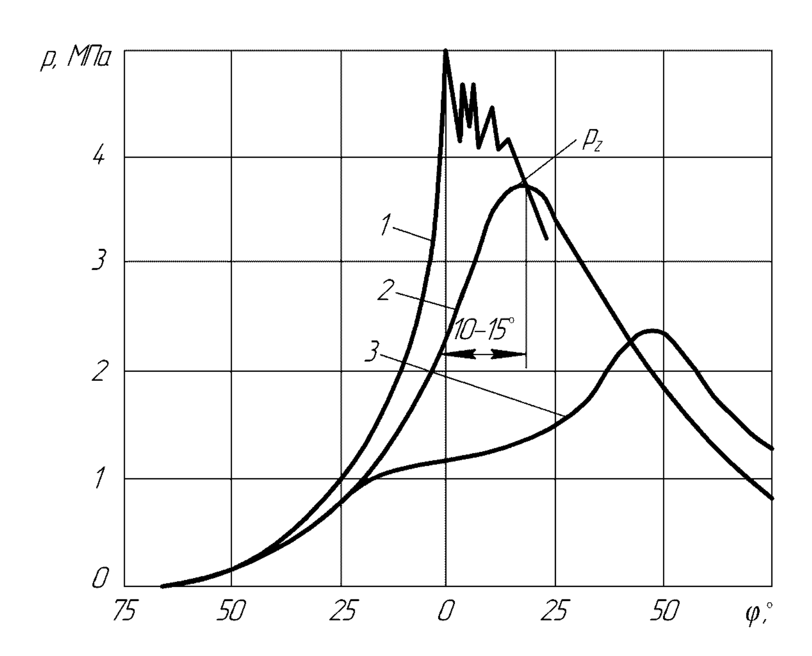
На начальную фазу сгорания топливовоздушной смеси влияют энергия и длительность искрового разряда между электродами свечи зажигания. На рабочих режимах к моменту искрообразования топливовоздушная смесь имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения, поэтому для формирования первоначального очага пламени достаточна энергия электрического разряда около 5 мДж. Однако при пуске двигателя и работе его в режиме холостого хода, на обедненной горючей смеси,

а также при частичном и резком открытии дроссельной заслонки может потребоваться энергия до 30-100 мДж.

С увеличением длительности индуктивной фазы искрового разряда можно расширить диапазон воспламеняемости смеси в сторону её обеднения, что способствует повышению экономичности двигателя. От энергии искры в значительной мере зависят экономичность и устойчивость работы двигателя, а также полнота сгорания горючей смеси и токсичность отработавших газов.

6.7. МОМЕНТ ЗАЖИГАНИЯ

Топливовоздушная смесь в цилиндрах должна воспламеняться в определенный момент в зависимости от режима работы двигателя. В таком случае обеспечиваются наилучшие показатели двигателя по выбранному критерию (мощности, экономичности или токсичности). Работа двигателя будет наиболее эффективной, если давление в цилиндре достигнет максимального значения p_z (рис. 30, кривая 2) через 10-15° угла $\varphi_в$ поворота коленчатого вала на такте расширения после прохождения поршнем ВМТ.



1 – раннее зажигание; 2 – нормальное зажигание; 3 – позднее зажигание; p_z – максимальное давление сгорания смеси.

Рисунок 30 – Индикаторные диаграммы двигателя при различных углах опережения зажигания

При позднем зажигании топливовоздушной смеси её догорание будет происходить на такте расширения при быстро увеличивающихся объёме цилиндра и поверхности теплоотдачи. В результате уменьшаются максимальное давление сгорания горючей смеси (см. рис. 30, кривая 3), развиваемая двигателем мощность, происходит перегрев системы выпуска отработавших газов и увеличивается количество токсичных компонентов, выбрасываемых в окружающую среду.

При слишком раннем зажигании большая часть рабочей смеси сгорает на такте сжатия и давление газов в цилиндре может достигнуть максимума до прихода поршня в ВМТ. В таком случае не только уменьшается мощность, но и резко возрастают нагрузки на детали шатунно-поршневой группы, что ускоряет их изнашивание. При раннем зажигании вероятность возникновения детонации больше (см. рис. 30, кривая 1).

Оптимальный угол опережения зажигания зависит от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя. Для того чтобы топливовоздушная смесь успела сгореть, с увеличением частоты вращения коленчатого вала УОЗ необходимо увеличивать. С ростом нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала увеличивается степень открытия дроссельной заслонки карбюратора, что способствует лучшему наполнению цилиндров и уменьшению продолжительности процесса сгорания, поэтому УОЗ необходимо уменьшать.

6.8. ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Протекание рабочих процессов в системе зажигания можно разделить на три этапа:

- накопление энергии в одном из реактивных элементов электрической схемы (в индуктивности или в емкости);
- индуктирование импульса высокого напряжения во вторичной цепи катушки зажигания;
- пробой искрового промежутка между электродами свечи зажигания и выделение энергии в искровом разряде.

В системе зажигания с накоплением энергии в индуктивности первый этап начинается после замыкания цепи питания первичной обмотки катушки зажигания.

Сила тока в первичной обмотке, имеющей не только активное, но и реактивное сопротивление, нарастает постепенно по экспоненциальному закону (рис. 31 *а*):

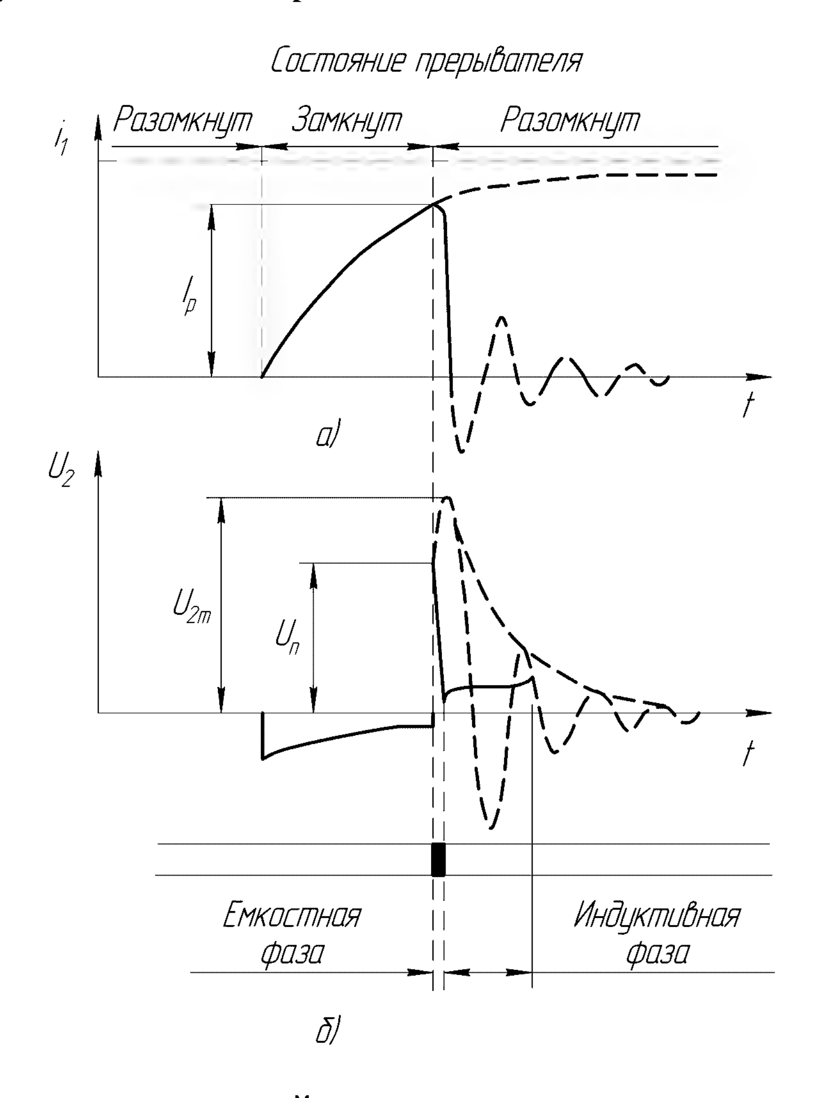
$$i_1 = \frac{U_{АБ}}{R_1}(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t}), \qquad (32)$$

где $U_{АБ}$ – напряжение аккумуляторной батареи;

R_1 – активное сопротивление первичной цепи;

L_1 – индуктивность первичной цепи;

t – текущее значение времени.



а – силы тока в первичной цепи катушки зажигания; *б* – напряжения вторичной цепи напряжения.

Рисунок 31 – Временные диаграммы

Нарастающая сила первичного тока стремится достигнуть максимального значения $I_{1\max} = U_{АБ} / R_1$. Максимальная энергия, которую можно накопить в индуктивном элементе, определяется по формуле:

$$W_{L\max} = 0{,}5 L_1 I_{1\max}^2 \qquad (33)$$

В системе зажигания с накоплением энергии в емкости по экспоненциальному закону нарастает напряжение заряда конденсатора. Энергия, которую можно накопить в электрическом поле конденсатора:

$$W_c = 0{,}5 C_1 U_C^2, \qquad (34)$$

где U_C – напряжение на выходах конденсатора в момент его подключения к первичной обмотке катушки зажигания;

C_1 – ёмкость конденсатора.

Нарастание тока в первичной обмотке катушки в системе зажигания с накоплением энергии в индуктивности происходит в течение определенного времени, которое зависит от частоты следования искровых разрядов, а следовательно, от числа цилиндров и частоты вращения коленчатого вала двигателя. К моменту размыкания первичной цепи сила тока возрастает до силы тока разрыва I_P. Время полного цикла замкнутого и разомкнутого состояния первичной цепи катушки зажигания определяется по формуле:

$$T = 120 / (Z_ц n), \qquad (35)$$

где $Z_ц$ – число цилиндров двигателя.

Время замкнутого состояния первичной цепи $t_{з.С} = \nu_{з.С} T$ зависит от относительного времени $\nu_{з.С}$ роста силы тока в первичной цепи (относительного времени замкнутого состояния контактов прерывателя в контактной системе зажигания или относительного времени, в течение которого силовой транзистор электронной системы зажигания находится в состоянии насыщения).

После отключения первичной обмотки катушки зажигания от источника электроснабжения в первичной цепи образуется колебательный контур, содержащий катушку индуктивности L_1, конденсатор емкостью C_1 (активное сопротивление), в котором возникают затухающие колебания силы тока I_1 и напряжения U_1 первичной цепи. Емкость C_1 первичной цепи в контактной систе-

ме зажигания – емкость конденсатора, подключаемого параллельно контактам прерывателя. Применение конденсатора в контактной системе зажигания обусловлено необходимостью уменьшения скорости роста напряжения первичной цепи в начальный момент размыкания контактов. При малых частотах вращения коленчатого вала и, следовательно, низкой скорости размыкания контактов напряжение U_1 превысит напряжение пробоя воздушного пространства между контактами, в результате чего в межконтактном промежутке возникает электрическая дуга, которая поглощает значительную часть запасаемой в магнитном поле катушки зажигания энергии. Это приводит к интенсивному электроэрозионному изнашиванию контактов и снижению напряжения вторичной цепи. Выбор емкости C_1 связан с поиском компромисса между двумя противоречивыми требованиями. Увеличение емкости C_1 способствует устранению дугообразования, но при этом уменьшаются скорость исчезновения магнитного поля и напряжения вторичной цепи. В системах с механическим прерывателем тока в первичной цепи катушки зажигания оптимальной является емкость в пределах 0,22-0,28 мкФ.

В системах зажигания с электронным коммутирующим устройством первичной цепи емкостной элемент обеспечивает переключение мощного транзистора с минимальным рассеянием мощности. Для некоторых типов высокочастотных транзисторов наличие емкостного элемента не обязательно.

Вторичная обмотка вместе с конденсатором емкостью C_2 вторичной цепи также образуют колебательный контур, индуктивно связанный с колебательным контуром первичной цепи. При отсутствии пробоя искрового промежутка свечи колебания напряжения U_2 вторичной цепи, так же как и напряжение U_1 первичной цепи, будут затухающими. Максимальная амплитуда колебаний вторичного напряжения $U_{2\max}$ представляет собой высоковольтный импульс (рис. 31 *б*).

В системе индуктивно связанных контуров энергия, запасенная в магнитном поле катушки зажигания, преобразуется в энергию электрического поля конденсаторов емкостью C_1 и C_2, и частично выделяется в виде теплоты на активных элементах пер-

вичной и вторичной цепей и в магнитопроводе катушки зажигания.

Уравнение баланса энергии имеет вид:

$$\frac{L_1 I_P^2}{2} = \frac{C_1 U_{1\max}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2\max}^2}{2} + A, \qquad (36)$$

где $U_{1\max}$ и $U_{2\max}$ – соответственно максимальные напряжения заряда емкостей первичной и вторичной цепей;

A – тепловые потери.

Поскольку катушка зажигания является трансформатором, максимальное напряжение вторичной цепи может быть найдено по формуле:

$$U_{2\max} = K_T U_{1\max}, \qquad (37)$$

где K_T – коэффициент трансформации, представляющий собой отношение числа витков w_1 первичной обмотки к числу витков w_2 вторичной обмотки катушки зажигания.

Исходя из баланса энергии, максимальное напряжение вторичной цепи определяется по формуле:

$$U_{2\max} = I_P \cdot K_T \cdot \eta_П \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 \cdot K_T^2}}, \qquad (38)$$

где $\eta_П$ – коэффициент, учитывающий потери энергии на активных элементах и в магнитопроводе катушки, равный $\eta_П = 0{,}7...0{,}8$.

Сила тока I_P разрыва первичной цепи возрастает с уменьшением ее индуктивности L_1, так как сила тока первичной цепи будет нарастать быстрее и при том же времени подключения первичной обмотки катушки зажигания к источнику электроснабжения достигнет большего значения. При этом должно возрасти напряжение вторичной цепи. Однако чрезмерное уменьшение индуктивности L_1 может привести к уменьшению напряжения вторичной цепи. Следовательно, для различных комбинаций параметров системы зажигания должно существовать оптимальное значение индуктивности L_1. Значения индуктивности L_1 в системах с накоплением энергии в магнитном поле находятся в пределах 3-10 мГн.

Увеличить силу тока I_P разрыва первичной цепи можно за счет уменьшения сопротивления R_1, повышения напряжения на

выводах первичной обмотки и большего времени $\tau_{з.с}$ подключения катушки зажигания к источнику. Однако в контактной системе зажигания сила тока разрыва не должна превышать 3,5-5,0 А, в противном случае контакты быстро подгорают и выходят из строя.

С уменьшением емкости C_1 вторичное напряжение возрастает, но до определенного предела, когда резко возрастают потери энергии на дугообразование между контактами.

Напряжение вторичной цепи должно уменьшаться с увеличением емкости C_2, которая складывается из емкостей вторичной обмотки катушки зажигания (40-50 пФ), распределителя (15-25 пФ), свечей зажигания (емкость каждой свечи около 60 пФ) и высоковольтных проводов (0,9-1,2 пФ). Уменьшать емкость C_2 ниже определенного предела, составляющего 40-70 пФ, невозможно. Емкость C_2 зависит от конструктивного исполнения элементов системы зажигания и существенно увеличивается при их экранировании.

Поскольку в системе зажигания с накоплением энергии в электрическом поле конденсатора катушка зажигания не является накопителем энергии, индуктивность ее первичной обмотки можно выбирать в пределах 0,1-10 мГн, т.е. в большем диапазоне, чем для систем с накоплением энергии в магнитном поле.

Следующий этап рабочего процесса системы зажигания начинается, когда напряжение U_2 вторичной цепи на первой полуволне высоковольтного импульса становится равным напряжению пробоя. Напряжение, достаточное для пробоя, должно быть существенно меньше напряжения $U_{2\max}$. Так как в момент пробоя межэлектродного пространства свечи не вся энергия магнитного поля катушки зажигания преобразуется в энергию электрического поля емкостями C_1 и C_2, искровой разряд имеет емкостную и индуктивную составляющие.

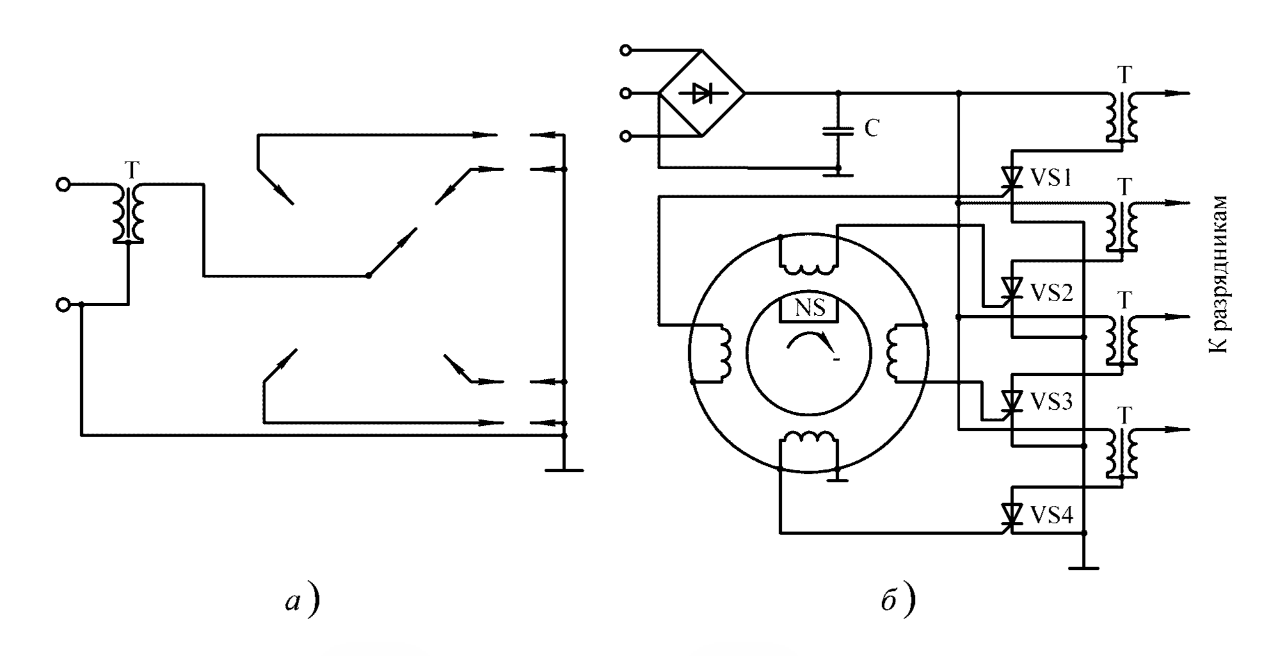
Емкостная фаза разряда наблюдается в виде яркой искры голубоватого цвета. В данной фазе сила тока достигает единиц и десятков ампер. Продолжительность емкостной фазы разряда не превышает 1-2 мкс. Емкостной разряд сопровождается специфическим треском.

Индуктивный разряд происходит при значительно меньшем вторичном напряжении (0,7-1,0 кВ). Сила тока в этой фазе искрового разряда составляет 40-100 мА. Индуктивный разряд происходит в течение 1-1,5 мс и имеет желтоватый или красновато-фиолетовый цвет. В контактных системах зажигания во время индуктивной фазы разряда выделяется энергия 15-20 мДж.

Воспламенение топливовоздушной смеси обеспечивается в основном емкостной составляющей разряда. Благодаря большей продолжительности индуктивный разряд способствует большему нагреву начального объема уже воспламенившейся смеси, что очень важно для режима пуска холодного двигателя.

6.9. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЦИЛИНДРАМ ДВИГАТЕЛЯ

В системах зажигания используют два способа распределения высокого напряжения по цилиндрам двигателя – высоковольтный и низковольтный. Высоковольтный способ реализуется с помощью распределителя в высоковольтной вторичной цепи катушки зажигания (рис. 32*а*).



а – высоковольтный; *б* – низковольтный.

Рисунок 32 – Способы распределения вторичного напряжения по цилиндрам двигателя

Для систем зажигания с низковольтным распределением искровых разрядов характерно наличие распределительного устройства (коммутатора) в низковольтной цепи одной или нескольких катушек (рис. 32*б*).

При распределении искровых разрядов на высоковольтной стороне (см. рис. 32*а*) вывод вторичной обмотки катушки зажигания соединяют с электродом (бегунком), находящимся на одном валу с кулачком механического прерывателя или ротором бесконтактного датчика. Вращающийся бегунок, проходя около каждого из электродов крышки распределителя, в соответствии с порядком работы цилиндров, соединяет высоковольтную цепь катушки со свечами зажигания. Прохождение электрода-бегунка мимо электродов крышки распределителя должно быть строго синхронизировано с моментом прерывания тока в первичной цепи катушки зажигания и возникновением в её вторичной обмотке высоковольтного импульса. При высоковольтном способе распределения вторичного напряжения можно применять одну катушку зажигания для двигателей с числом цилиндров до восьми. Однако при таком способе распределения увеличивается длина высоковольтных проводов, их ёмкость и снижается напряжение вторичной цепи. В воздушном зазоре между электродами бегунка и крышкой распределителя при подаче высоковольтного импульса к свечам проскакивает искра, которая является дополнительным источником радиопомех. Для изготовления деталей высоковольтных аппаратов необходимо применять стойкие к высокому напряжению изоляционные материалы.

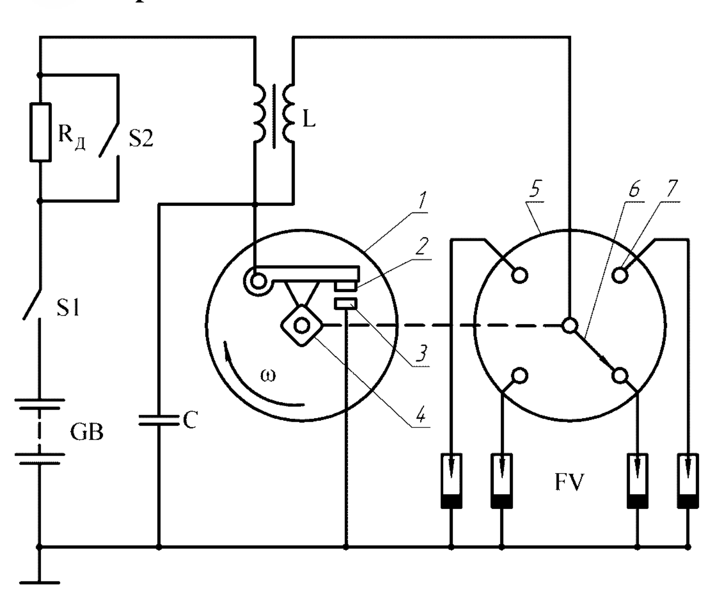
При низковольтном способе распределения искровых разрядов в системах зажигания с накоплением энергии в электростатическом поле (см. рис. 32*б*) к конденсатору C можно присоединить параллельно столько управляемых переключателей, сколько цилиндров у двигателя. Каждый переключатель, в качестве которых обычно используются тиристоры, работает на соединенную с ним катушку зажигания, выполняющую в конденсаторной системе функцию только преобразователя напряжения. Порядок чередования искр задаётся генераторным датчиком-распределителем, имеющим равное числу цилиндров двигателя число независимых обмоток на статоре. Импульсы управления, формируемые в обмотках статора, подаются на тиристоры $VS1-VS4$ (для четырёхци-

линдрового двигателя), которые подключают первичные обмотки катушек к накопительному конденсатору.

Низковольтный способ распределения может быть реализован в системах зажигания с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания. Поскольку в таких системах катушка выполняет функции преобразователя напряжения и накопителя энергии, её параметры по индуктивности обмоток выше, чем у катушек в системах с накоплением энергии в ёмкости. Период накопления энергии в них больше, чем в конденсаторных системах, поэтому низковольтный способ распределения можно применять только при малом числе цилиндров и относительно низких частотах вращения коленчатого вала двигателя.

6.10. КОНТАКТНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Основными элементами контактной системы зажигания (рис. 33) являются аккумуляторная батарея, выключатель зажигания, выключатель добавочного резистора, добавочный резистор, катушка зажигания, прерывательный механизм **1**, распределитель **5**, конденсатор и свечи зажигания.



1 – прерыватель; 2,3 – подвижный и неподвижный контакты прерывателя; 4 – кулачок; 5 – распределитель; 6 – бегунок; 7 – неподвижный электрод.

Рисунок 33 – Схема контактной системы зажигания

При вращении вала распределителя **5**, связанного зубчатой передачей с коленчатым валом двигателя, кулачком **4** попеременно замыкаются и размыкаются контакты **2** и **3** прерывателя **1**.

Неподвижный контакт **3** прерывателя соединён с массой, подвижный контакт **2** закреплен на конце подвижного рычажка с подушечкой из текстолита. Контакты **2**, **3** находятся в замкнутом состоянии под действием пружины, если подушечка рычажка не касается кулачка. Когда подушечка попадает на грань кулачка, рычажок, преодолевая сопротивление пружины, поворачивается вокруг оси, закрепленной на подвижной пластине прерывательного механизма, и контакты размыкаются.

При включении выключателя зажигания и замкнутых контактах прерывателя цепи первичной обмотки катушки зажигания протекает ток, сила которого растёт, что приводит к созданию магнитного поля.

В момент размыкания контактов ток в первичной обмотке и созданное им магнитное поле исчезают. Во вторичной обмотке катушки зажигания индуктируется ЭДС, тем большая, чем выше скорость исчезновения магнитного поля. В это время токопроводящая пластина ротора распределителя проходит около бокового электрода крышки распределителя, соединенного высоковольтным проводом со свечой зажигания того цилиндра, в котором заканчивается процесс сжатия горючей смеси. Высокое вторичное напряжение, подаваемое на свечу зажигания, инициирует появление между её электродами искрового разряда.

Кулачок прерывателя и ротор распределителя установлены на одном валу. Частота вращения кулачка и ротора распределителя в два раза меньше частоты вращения коленчатого вала четырёхтактного двигателя. Число граней кулачка и боковых электродов в крышке распределителя равно числу цилиндров двигателя. Высокое напряжение к свечам зажигания подводится в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

Сила тока I_P разрыва цепи первичной обмотки катушки зажигания и вторичное напряжение $U_{2\max}$ зависят от времени замкнутого состояния контактов прерывателя. Конструктивно прерывательный механизм контактной системы устроен таким образом, что время $t_з$ замкнутого состояния контактов непосред-

ственно зависит от угла $\alpha_З$ замкнутого состояния контактов. Величина угла $\alpha_З$ зависит от профиля кулачка, зазора между контактами и не зависит от частоты вращения коленчатого вала, тогда как время замкнутого состояния контактов с увеличением частоты вращения уменьшается.

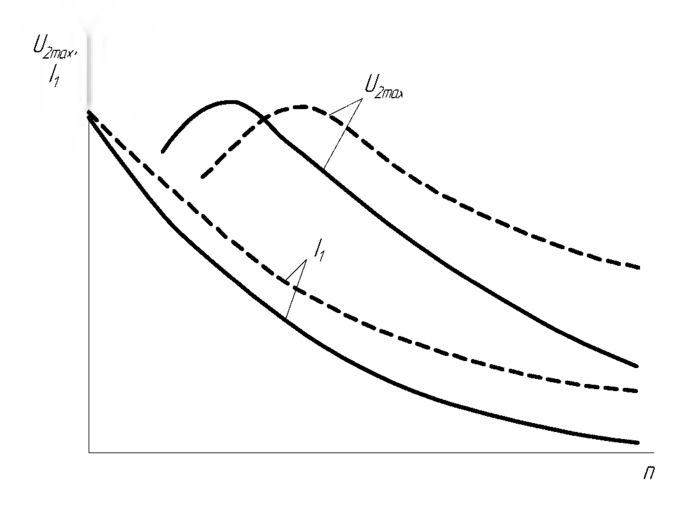
Поскольку в четырёхтактных многоцилиндровых двигателях искрообразование во всех цилиндрах должно произойти за два оборота коленчатого вала, продолжительность $t_Ц$ одного цикла работы прерывателя, включающего время $t_З$ замкнутого и время $t_Р$ разомкнутого состояния контактов, определяется по формуле:

$$t_Ц = \frac{120}{nZ_Ц} \tag{39}$$

Полному циклу работы соответствует угол $\alpha_Ц$. Относительное время замкнутого состояния контактов $\tau_З = \frac{t_З}{t_Ц} = \frac{\alpha_З}{\alpha_Ц}$, поэтому справедливо равенство:

$$t_З = \tau_З t_Ц = \frac{120\alpha_З}{\alpha_Ц nZ_Ц} \tag{40}$$

Время замкнутого состояния контактов прерывателя, сила тока разрыва первичной цепи и вторичное напряжение уменьшаются не только при увеличении частоты вращения коленчатого вала, но и с увеличением числа цилиндров двигателя (рис. 34).



----- – восемь цилиндров; - - - - – четыре цилиндра
Рисунок 34 – Влияние числа цилиндров двигателя на характеристики контактной системы зажигания

При размыкании контактов прерывателя в первичной обмотке катушки зажигания индуктируется ЭДС, достигающая 200-400 В и направленная в ту же сторону, что и ток первичной обмотки. ЭДС стремиться задержать исчезновение тока и также вызывает образование дуги между контактами и снижает вторичное напряжение.

Дугообразование практически устраняется при подключении параллельно контактам прерывателя конденсатора. Конденсатор совместно с первичной обмоткой катушки зажигания образует колебательный контур. При появлении ЭДС в первичной обмотке конденсатор заряжается, а в последующий период разряжается через катушку и аккумуляторную батарею. Колебательный контур обеспечивает более быстрое снижение силы тока первичной цепи и индуктирование достаточно высокой ЭДС во вторичной обмотке катушки зажигания.

Характеристики контактной системы зажигания улучшаются при включении в цепь первичной обмотки добавочного резистора. На рабочих режимах резистор снижает тепловые потери в катушке зажигания. При включении электростартера во время пуска двигателя, когда напряжение на выводах аккумуляторной батареи падает из-за большой силы разрядного тока, добавочный резистор замыкается накоротко.

Добавочные резисторы из нихромовой или константановой проволоки, наматываемой на керамический изолятор, могут быть установлены на катушке зажигания и выполнены в виде отдельного элемента.

6.11. КОНТАКТНО-ТРАНЗИСТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

На первом этапе внедрения электронных систем зажигания широкое распространение получили электронные системы зажигания с контактным управлением: контактно-транзисторные и контактно-тиристорные. Принцип работы таких систем основан на накоплении энергии в магнитном поле катушки зажигания или в электростатическом поле конденсатора.

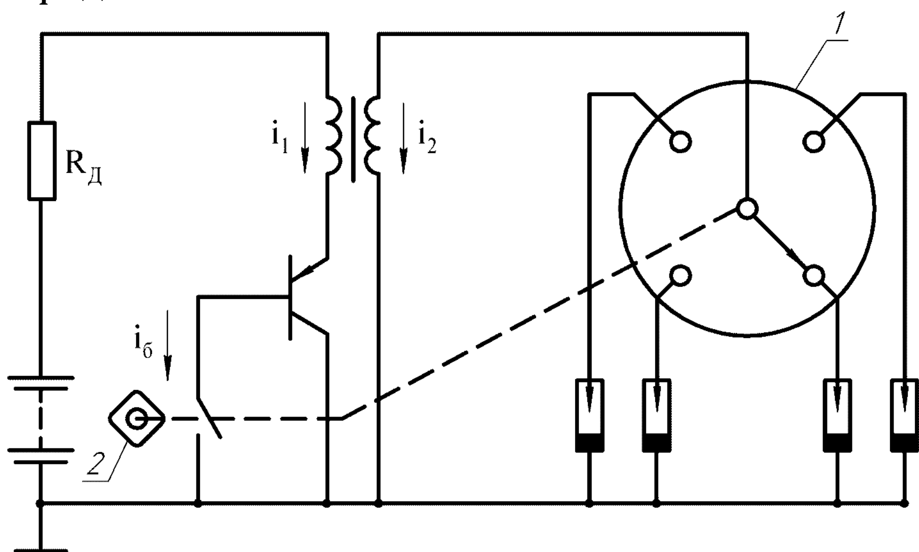
Наивыгоднейшие условия работы контактов прерывателя при одновременном увеличении силы тока разрыва первичной цепи катушки зажигания в контактно-транзисторных системах зажигания (КТСЗ) создаются благодаря разделению функций синхронизатора момента зажигания, прерываются транзисторным коммутатором, тогда как синхронизация зажигания с работой двигателя осуществляется контактами прерывателя. Ток, проходящий через первичную катушку зажигания, прерывается транзисторным коммутатором, тогда как синхронизация зажигания с работой двигателя осуществляется контактами прерывателя.

Сила тока управления транзисторным коммутатором, проходящего через контакты прерывателя, намного меньше силы тока первичной обмотки катушки зажигания, поэтому в КТСЗ можно устанавливать оптимальную с точки зрения долговечности контактных пар силу прерываемого тока. В КТСЗ режим работы контактов прерывателя значительно облегчён и поэтому срок их службы больше. Увеличение силы тока разрыва первичной цепи ограничивается только параметрами силового транзистора, а не стойкостью контактов прерывателя. Однако включение в схему КТСЗ транзисторного коммутатора не полностью исключает недостатки, присущие классической контактной системе зажигания, такие как механическое изнашивание кулачка, подушечки рычажка и контактной пары прерывателя, а также невозможность воспроизведения сложных характеристик управления углом опережения зажигания.

Контактно-транзисторная система зажигания. При замыкании контактов (рис. 35) прерывателя база транзистора соединяется с массой и далее с минусовым выводом аккумуляторной батареи. По переходу эмиттер-база транзистора проходит $i_Б$ базы. Транзистор открывается и замыкает цепь первичной катушки замыкания.

В момент размыкания контактов транзистор переходит в состояние отсечки, разрывая первичную цепь катушки зажигания. Ток i_1 в первичной обмотке резко исчезает, а во вторичной обмотке индуктируется высокая ЭДС, вызывающая появление

тока i_2 во вторичной цепи при пробое искрового промежутка между электродами свечи зажигания.



1 – распределитель; 2 – кулачок прерывателя.
Рисунок 35 – Схема контактно-транзисторной системы зажигания

В реальных коммутаторах КТСЗ, кроме силового транзистора, имеются другие элементы: стабилитрон, диод, резистор, импульсный трансформатор и два конденсатора.

Первичная обмотка катушки зажигания включена в цепь эмиттер-коллектор транзистора. Управление транзистором осуществляется с помощью контактного прерывателя, включенного в цепь базы транзистора. Через замкнутые контакты прерывателя протекает ток, сила которого в $k+1$ раз (k – коэффициент усиления транзистора) меньше силы тока первичной обмотки катушки зажигания.

Когда контакты прерывателя замкнуты, транзистор находится в состоянии насыщения, и увеличение силы тока в первичной обмотке катушки зажигания происходит так же, как в классической контактной системе зажигания.

После размыкания контактов прерывателя и перехода транзистора в состояние отсечки накопленная в магнитном поле катушки зажигания энергия преобразуется в импульс высокого вторичного напряжения, подаваемого через распределитель на очередную свечу зажигания в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

Импульсный трансформатор, включенный последовательно с контактным прерывателем, при размыкании контактов обеспечивает отрицательное смещение на переходе эмиттер-база транзистора, ускоряя его переход из состояния насыщения в состояние отсечки. Отрицательное смещение возникает при индуктировании ЭДС взаимоиндукции e_s во вторичной обмотке трансформатора. Резистор служит для формирования необходимого запирающего импульса транзистора.

Когда транзистор переходит в состояние отсечки, в первичной обмотке катушки зажигания также индуктируется достаточно высокая ЭДС. Для исключения перенапряжения на транзисторе параллельно его эмиттер-коллекторному переходу подключена цепочка стабилизации. Напряжение стабилизации стабилитрона около 80 В. Если ЭДС самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания превысит напряжение стабилизации, то ток, вызванный этой ЭДС, замыкается через открытый стабилитрон и диод. Диод препятствует прохождению через стабилитрон тока от аккумуляторной батареи.

Стабилитрон обеспечивает также защиту транзистора от высоковольтных импульсов напряжения, которые могут возникнуть на его эмиттер-коллекторном переходе при отключении нагрузки во вторичной цепи, например, при техническом обслуживании системы зажигания.

Если ЭДС самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания меньше напряжения стабилизации стабилитрона, то ток, создаваемый этой ЭДС, идёт на заряд первого конденсатора, подключенного параллельно первичной обмотке. В результате мощность, выделяемая в транзисторе при его переходе в состояние отсечки, и температура его нагрева уменьшаются. В результате предотвращается лавинообразный процесс умножения носителей заряда и пробой транзистора, связанный с его локальным перегревом.

Второй электролитический конденсатор защищает систему зажигания от случайных импульсных перенапряжений в бортовой сети (например, при работе КТСЗ с отключенной аккумуляторной батареей).

Контактно-тиристорная система зажигания. В системах зажигания с накоплением энергии в электростатическом поле конденсатора функцию электронного реле выполняют тиристоры, управляемые контактным прерывателем, поэтому такие системы называют контактно-тиристорными.

Система с непрерывным накоплением энергии (рис. 36) содержит двухтактный преобразователь напряжения, состоящий из двух транзисторов *VT*1 и *VT*2, трансформатора *T*1, резисторов *R*2 и *R*3 и конденсатора *C*1. Двухполупериодный выпрямитель с нулевой точкой (диоды *VD*1 и *VD*2) служит для выпрямления выходного напряжения преобразователя. Выпрямитель нагружен накопительным конденсатором *C*2, параллельно которому подключен резистор *R*4. Тиристор *VS* прерывает ток в первичной обмотке *L*1 катушки зажигания (трансформатор *T*2). Управление тиристором осуществляется контактным *S*2 синхронизатором момента зажигания.

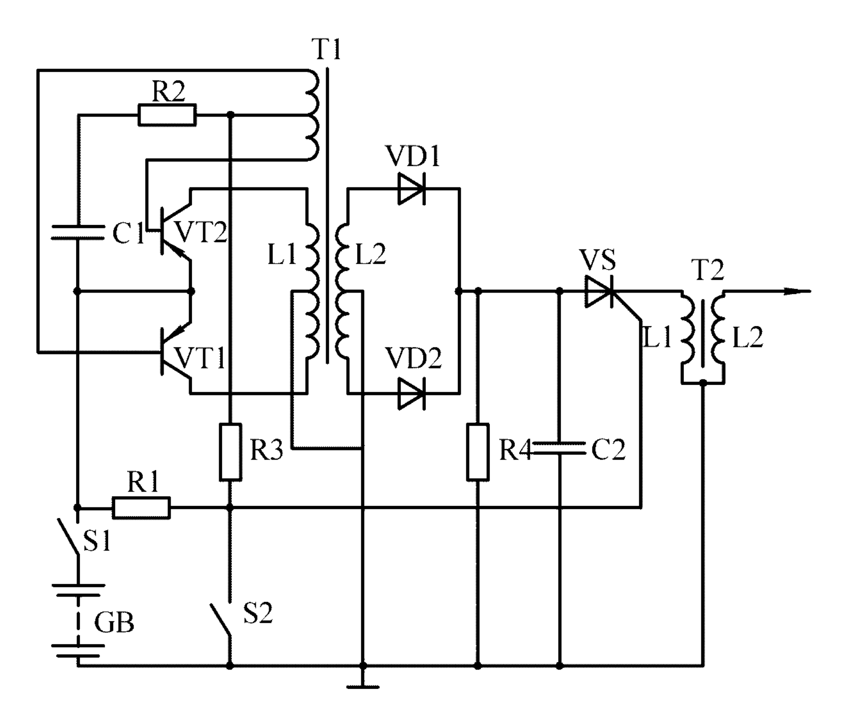


Рисунок 36 – Тиристорная система зажигания с непрерывным накоплением энергии в электростатическом поле конденсатора

При замыкании контактов *S*1 выключателя зажигания срабатывает двухтактный преобразователь напряжения. На выводах вторичной обмотки *L*2 трансформатора *T*1 появляется переменное напряжение прямоугольной формы с амплитудой 200-500 В. Вы-

прямленное постоянное напряжение подаётся на заряд накопительного конденсатора $C2$, если контакты $S2$ синхронизатора момента зажигания замкнуты. Тиристор находится в закрытом состоянии, так как его цепь управления шунтирована замкнутыми контактами $S2$ синхронизатора.

В момент размыкания контактов $S2$ синхронизатора напряжение от аккумуляторной батареи GB подаётся через резистор $R1$ к управляющему электроду тиристора VS. Через открытый тиристор происходит разряд конденсатора $C2$ на первичную обмотку $L1$ катушки зажигания $T2$, вследствие чего в её вторичной обмотке $L2$ индуктируется высокая ЭДС. При соответствующем подборе параметров элементов рассмотренной системы зажигания можно на всех режимах работы двигателя обеспечить полный заряд конденсатора и получить практически не зависящее от частоты вращения коленчатого вала двигателя вторичное напряжение. Цепочка $C1 - R2$ обеспечивает надежный пуск транзисторного преобразователя.

В системе с импульсным накоплением энергии при замыкании контактов $S1$ (рис. 37) выключателя зажигания и размыкания контактов $S2$ синхронизатора момента зажигания на базу транзистора VT подаётся положительный импульс напряжения от аккумуляторной батареи GB.

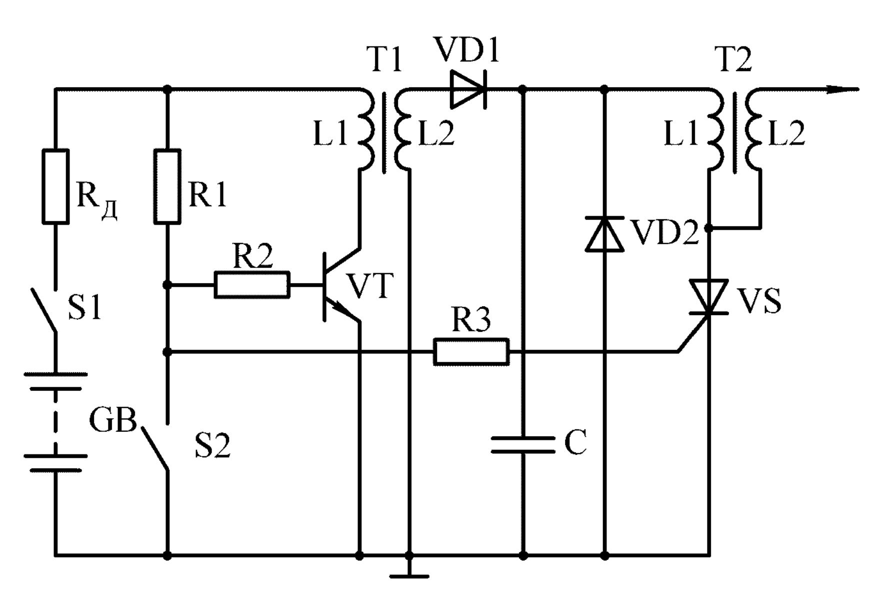


Рисунок 37 – Тиристорная система зажигания с импульсным накоплением энергии в электростатическом поле конденсатора

Транзистор переходит в состояние насыщения, пропуская через эмиттер-коллекторный переход и первичную обмотку *L*1 трансформатора ток, создающий магнитное поле в трансформаторе. В момент замыкания контактов *S*2 синхронизатора цепь базы транзистора *VT* замыкается накоротко, транзистор переходит в состояние отсечки, ток в обмотке *L*1 трансформатора исчезает, а во вторичной обмотке индуктируется высокая ЭДС. В это время замкнутые контакты *S*2 синхронизатора шунтируют цепь управления тиристором. Тиристор закрыт, а конденсатор *C* через диод *VD*1 заряжается до напряжения 200-400 В.

При следующем замыкании контактов *S*2 синхронизатора к управляющему электроду тиристора через резисторы $R_Д$, *R*1, *R*3 подаётся напряжение от аккумуляторной батареи. Тиристор открывается. Ток разряда конденсатора проходит через первичную обмотку *L*1 катушки трансформатора и на выводах вторичной обмотки появляется импульс высокого напряжения, подаваемого на свечу зажигания.

6.12. БЕСКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Бесконтактная система зажигания с магнитоэлектрическим датчиком и нерегулируемым временем накопления энергии. Упрощенная схема БТСЗ с МЭД и ненормируемым временем накопления энергии приведена на рисунке 38.

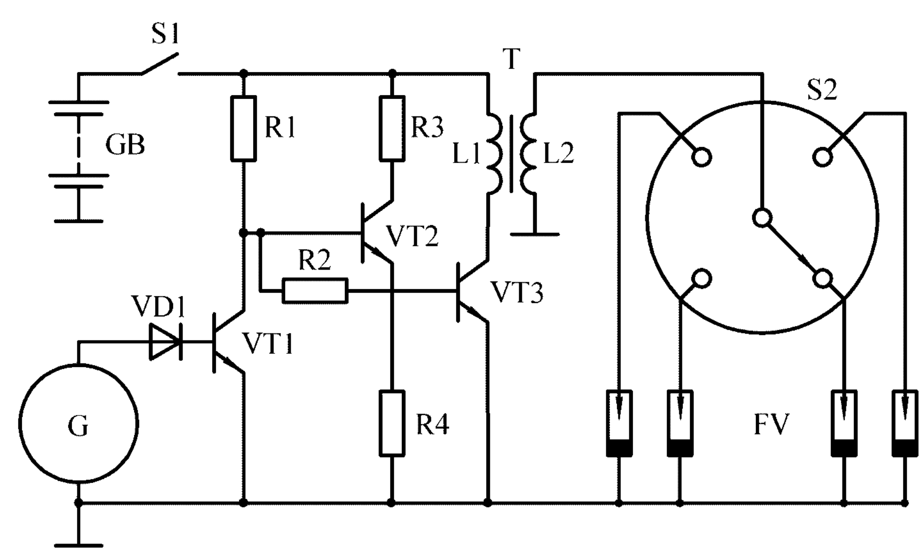


Рисунок 38 – Схема БТСЗ с МЭД и ненормируемым временем накопления энергии

Формирующий каскад БТСЗ выполнен по схеме усилителя постоянного тока на транзисторах $VT1$ и $VT2$.

При замкнутых контактах $S1$ выключателя зажигания и неподвижном роторе датчика G ток в управляющей цепи база-эмиттер транзистора $VT1$ отсутствует. Транзистор $VT1$ находится в состоянии отсечки. Высокое напряжение на коллекторе транзистора $VT1$ способствует переходу в состояние насыщения транзистора $VT2$, а затем и выходного коммутирующего транзистора $VT3$. Через открытый эмиттер-коллекторный переход транзистора $VT3$ в первичную обмотку $L1$ катушки зажигания поступает ток, и в её магнитном поле начинается процесс накопления энергии.

При вращении ротора МЭД положительная полуволна генерируемого датчиком напряжения переводит транзистор $VT1$ в состояние насыщения. Переход база-эмиттер транзистора $VT2$ шунтируется эмиттер-коллекторным переходом транзистора $VT1$, поэтому транзисторы $VT2$ и $VT1$ лавинообразно закрываются. Сила тока в первичной обмотке $L1$ катушки зажигания T резко уменьшается, а во вторичной обмотке $L2$ возникает высоковольтный импульс вторичного напряжения, который распределителем $S2$ подаётся к соответствующей свече зажигания.

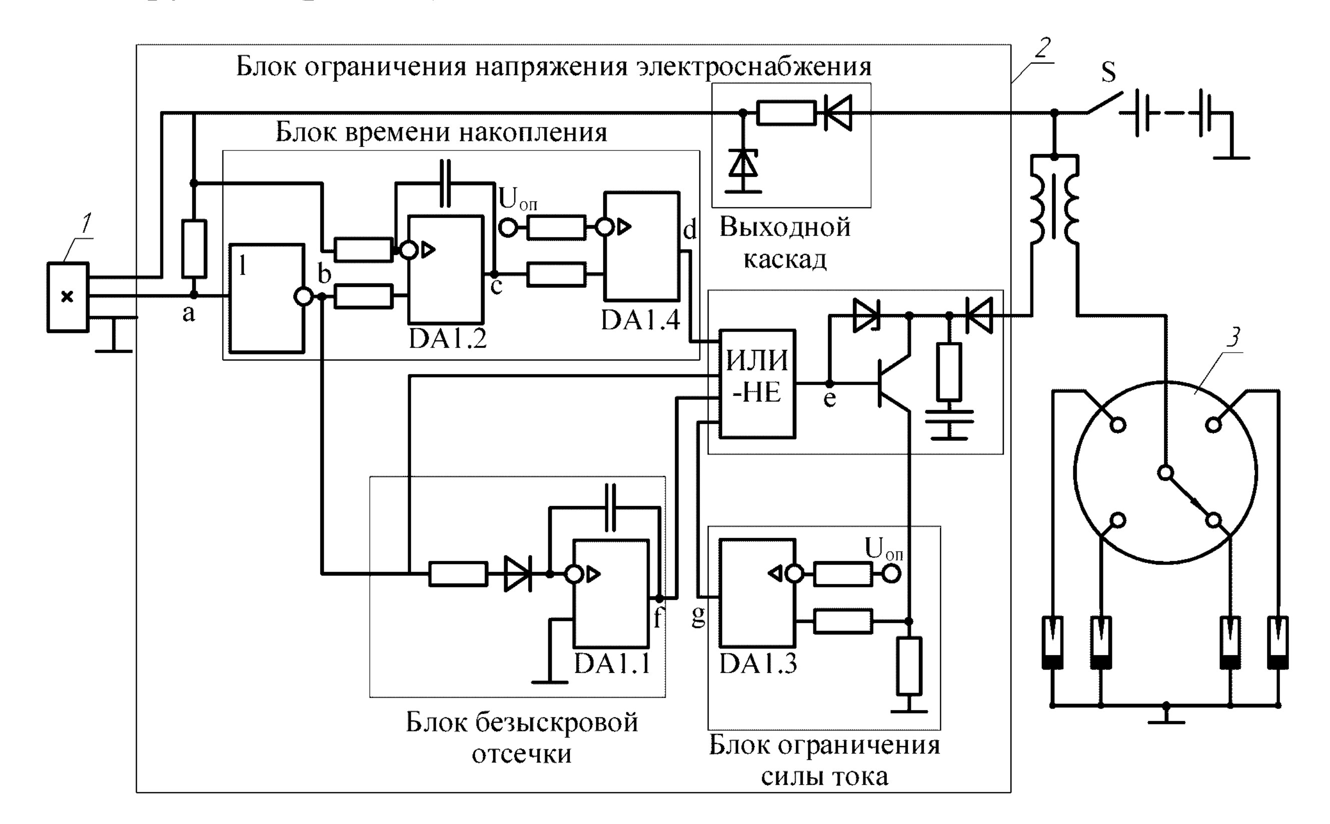
Бесконтактная система зажигания с датчиком Холла и регулируемым временем накопления энергии. В БТСЗ с МЭД и в системах зажигания с контактным управлением моментом зажигания с уменьшением частоты вращения коленчатого вала двигателя увеличиваются время замкнутого состояния первичной цепи катушки зажигания и тепловые потери в ней. При этом энергия, накапливаемая в магнитном поле катушки зажигания, возрастает в меньшей степени. Поэтому для более рационального использования энергии, потребляемой от источника электроснабжения, и снижения тепловой нагрузки на элементы системы зажигания $t_н$ накопления энергии в магнитном поле катушки зажигания необходимо регулировать.

Принцип регулирования времени $t_н$ накопления энергии в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и напряжения бортовой сети электрооборудования реализован в БТСЗ автомобиля ВАЗ-2108, в состав которой входят электрон-

ный коммутатор 36.3734, датчик-распределитель и катушка зажигания.

В отличие от контактно-транзисторных систем зажигания БТСЗ с МЭД в магнитном поле катушки системы зажигания автомобиля ВАЗ-2108 накапливается в 1,5-2,0 раза большая энергия, а рассеиваемая мощность уменьшается в 2-3 раза. Это позволяет уменьшить габаритные размеры и массу коммутатора и улучшить выходные характеристики системы зажигания. Энергия искрового разряда повысилась до 40-50 мДж. При шунтирующем сопротивлении свечи зажигания $R_{Ш} = 1{,}0$ МОм и ёмкости вторичной цепи $C_{Ш} = 50$ мкФ система зажигания развивает вторичное напряжение до 26-30 кВ.

В качестве синхронизатора момента зажигания в БТСЗ с регулируемым временем накопления энергии используется датчик Холла, установленный в датчике-распределителе обычной конструкции (рис. 39).



1 – датчик Холла; 2 – электронный коммутатор; 3 – распределитель.

Рисунок 39 – Схема системы зажигания с датчиком Холла и регулируемым временем накопления энергии

6.13. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Микропроцессорные системы зажигания (МПСЗ) обладают высокой гибкостью управления и возможностью реализации комплексных функций и характеристик. В МПСЗ используется принцип программируемой логики, который предполагает управление моментом искрообразования по определенной программе, занесенной в универсальное управляющее устройство. В зависимости от введенной программы управляющее устройство способно обеспечить требуемые характеристики не только системы зажигания, но и электронных систем топливоподачи. Для построения цифрового управляющего устройства требуется небольшое количество больших интегральных схем (БИС), которые образуют микропроцессорный комплект.

Основной частью МПСЗ является микропроцессор, содержащий арифметико-логическое устройство (АЛУ), которое производит арифметические операции сложения, вычитания, умножения, а также реализует функции умножения (логические элементы «И»), сложения (логические элементы «ИЛИ»), отрицания или инверсии (логический элемент «НЕ») и др. Программы управления процессами вычислений, характеристики управления искрообразованием и топливоподачей и другие данные, которые в данном типе управляющего устройства не изменяются в течение всего времени его эксплуатации на двигателе, заносятся в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) методами необратимого программирования (маскирование, вжигание).

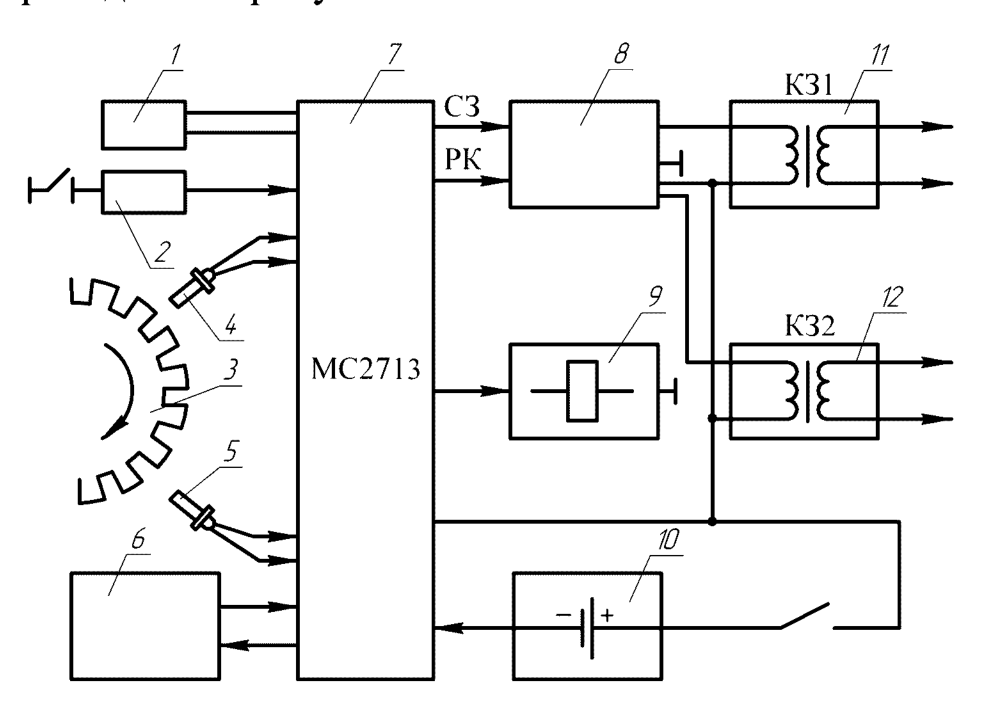
Информация от датчиков параметров рабочего процесса двигателя, которая изменяется при изменении режима работы двигателя и обновляется в каждом цикле вычислений после появления опорного сигнала ДНО, поступает в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Эта информация хранится в ОЗУ до тех пор, пока она не будет востребована по сигналу, устанавливаемому программой, заложенной в ПЗУ.

Используя информацию от датчиков и занесенные в ПЗУ данные таблиц УОЗ, микропроцессор вычисляет оптимальный угол опережения зажигания для каждого цикла работы двигателя и формирует соответствующий данному углу сигнал на выходе контроллера для электронного коммутатора. Значения УОЗ в

таблицах ПЗУ оптимизированы по какому-либо показателю качества рабочего процесса двигателя (максимальные мощность и экономичность, минимальная токсичность и др.).

Сочетание в МПСЗ программных и аппаратных средств регулирования момента зажигания позволяет вычислять оптимальный УОЗ в течение 8-12 мкс. Преимущества МПСЗ обусловлены возможностью наращивания функций для обеспечения работы от большего числа датчиков, например в случае ввода в ПЗУ управления УОЗ по степени детонации, а также для самодиагностики. Для изменения алгоритма управления МПСЗ нет необходимости изменять структуру всей системы. Достаточно разработать новую программу управления УОЗ микропроцессором и записать её в ПЗУ контроллера.

Микропроцессорная система управления моментом зажигания приведена на рисунке 40.



1 – впускной трубопровод двигателя; 2 – датчик положения дроссельной заслонки; 3 – маховик двигателя; 4 – датчик начала отсчёта (ДНО); 5 – датчик угловых импульсов (ДУИ); 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТО); 7 – контроллер «Электроника МС2713»; 8 – электронный коммутатор; 9 – электромагнитный клапан ЭПХХ; 10 – аккумуляторная батарея; 11, 12 – катушки зажигания КЗ1 и КЗ2.

Рисунок 40 – Схема МПСУД автомобильного двигателя

В микропроцессорную систему управления моментом зажигания (рис. 40) входят следующие элементы:

- контроллер **7** «Электроника МС2713» со встроенным датчиком давления вакуума;
- электронный двухканальный коммутатор **8**;
- датчик начало отсчёта **4**;
- датчик угловых импульсов **5**;
- датчик **6** температуры охлаждающей жидкости;
- двухвыводные катушки зажигания **11** и **12**;
- датчик **2** положения дроссельной заслонки (концевой выключатель).

Для реализации оптимального закона управления УОЗ на входы контроллера поступают данные о скоростном, нагрузочном режиме и тепловом состоянии двигателя.

Информация о скоростном режиме двигателя снимается с индуктивных датчиков ДНО и ДУИ. ДНО синхронизирует работу контроллера с работой двигателя, формируя в определенной фазе работы двигателя одиночный опорный импульс. ДУИ со схемой преобразования сигналов вырабатывает импульсную последовательность, которая используется микропроцессором для вычисления частоты вращения и угла поворота коленчатого вала.

По информации полупроводникового датчика **6** температуры охлаждающей жидкости двигателя контроллер корректирует характеристики управления УОЗ.

По сигналам от концевого выключателя о положении дроссельной заслонки контроллер управляет электромагнитным клапаном **9** экономайзера принудительного холостого хода (ЭПХХ), включая и выключая его в зависимости от режима работы двигателя.

По опорному импульсу ДНО контроллер **7** подаёт на коммутатор **8** сигнал разделения каналов РК, обеспечивая с помощью катушек К31 и К32 искрообразование в свечах зажигания в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет система зажигания?

2. Какие основные элементы составляют батарейную систему зажигания?

3. Из каких этапов состоит рабочий процесс бензинового двигателя?

4. Какие параметры характеризуют рабочий процесс бензинового двигателя?

5. По каким признакам классифицируются батарейные системы зажигания?

6. Какие требования предъявляются к системам зажигания?

7. В чём сущность закона Пашена?

8. На чём основан принцип действия системы зажигания?

9. Какие преимущества и недостатки имеет контактная система зажигания?

10. Какие преимущества и недостатки имеет контактно-транзисторная система зажигания?

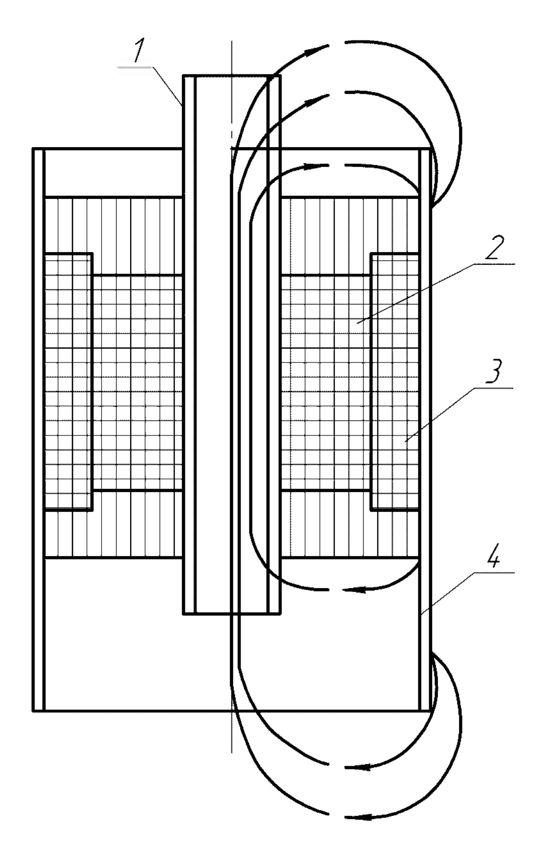
11. Какие преимущества и недостатки имеет бесконтактная система зажигания?

12. Какие преимущества и недостатки имеет микропроцессорная система зажигания?

7. АППАРАТЫ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

7.1. КОНСТРУКЦИЯ АППАРАТОВ КОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Катушка зажигания. В контактных системах зажигания применяются катушки зажигания с разомкнутой магнитной цепью, в которых значительную часть пути магнитный поток проходит по воздуху (рис. 41). Первичная обмотка катушки намотана поверх вторичной обмотки. В данном случае обеспечиваются лучшие условия охлаждения катушки и уменьшается масса провода вторичной обмотки.



1 – магнитопровод; 2 – вторичная обмотка; 3 – первичная обмотка; 4 – наружный магнитопровод; - - - – линия магнитного потока.
Рисунок 41 – Катушка зажигания с разомкнутой магнитной цепью

Обмотки имеют автотрансформаторную связь. Так как первичная и вторичная обмотки соединены внутри катушки и имеют общий вывод, число выводов катушки уменьшено. Кроме

того, первичная обмотка, включенная последовательно со вторичной обмоткой, участвует в создании вторичного напряжения.

Большинство катушек зажигания – маслонаполненные, так как они более надежны в эксплуатации. Кроме того, обмотки могут быть залиты компаундом. В основном катушки зажигания контактных систем имеют аналогичную конструкцию, но могут отличаться обмоточными данными, конструкцией отдельных узлов и деталей, габаритными и установочными размерами.

Основными частями типовой катушки зажигания являются сердечник, первичная и вторичная обмотки, крышка с выводами: **ВК**, **ВКБ**, **1** и центральным, корпус и наружный магнитопровод.

Сердечник катушки набран из изолированных друг от друга окалиной пластин трансформаторной стали. На сердечник надета изолирующая трубка, на которую намотана вторичная обмотка. Внутри штампованного из листовой стали корпуса установлен наружный магнитопровод из листовой стали. К корпусу крепится добавочный резистор, расположенный в изоляторе. Благодаря более высоким характеристикам системы электростартерного пуска двигателей автомобилей ВАЗ в их контактных системах зажигания добавочный резистор отсутствует. Фарфоровый изолятор и крышка предотвращают электрический пробой между корпусом и сердечником.

В зависимости от типа катушки число витков может находиться в пределах 180-330 для первичной и 17000-26000 для вторичной обмоток. Для намотки используется провод диаметром 0,72-0,86 мм для первичной и 0,06-0,08 мм для вторичной обмоток. Соответственно коэффициент трансформации катушек контактных систем зажигания лежит в пределах 56-97.

Распределитель зажигания. Распределитель зажигания конструктивно объединяет в себе прерыватель, распределитель, конденсатор и устройства для регулирования УОЗ. Обычно вал распределителя приводится во вращение от распределительного вала двигателя или от вала привода масляного насоса через шестеренчатую или кулачковую передачи. В некоторых конструкциях распределителей не устанавливается вакуумный регулятор.

Наиболее ответственным узлом распределителя является прерывательный механизм с подвижной пластиной, от которого зависит работоспособность всей системы зажигания. Надежность

работы прерывательного механизма обеспечивается рациональной конструкцией рычажка и правильно спрофилированной поверхностью кулачка.

Для уменьшения износа металлокерамических втулок, в которых вращается вал распределителя, прерывательный механизм и кулачок расположены под центробежным регулятором.

Контакты прерывателя подвержены эрозии и коррозии. Эрозия сопровождается переносом металла с одного контакта на другой. Коррозия приводит к образованию на контактах оксидных плёнок. При переносе металла изменяется зазор между контактами, от величины которого зависят угол и время замкнутого состояния контактов. У большинства распределителей контактных систем зажигания величина зазора составляет 0,35-0,45 мм.

На корпусе распределителя 30.3706 из алюминиевого сплава установлен конденсатор. На поводковой пластине кулачка закреплен ротор с помехоподавительным резистором и электродом. В центре крышки установлен угольный контакт с пружиной. Крышка закреплена на корпусе распределителя с помощью двух пружинных защёлок. Маслоотражательная муфта предотвращает проникновение в распределитель моторного масла.

7.2. КОНСТРУКЦИЯ АППАРАТОВ КОНТАКТНО-ТРАНЗИСТОРНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Катушка зажигания. В отличие от катушек зажигания контактной системы зажигания в КТСЗ катушка Б114Б имеет трансформаторную связь с повышенным коэффициентом трансформации и меньшую индуктивность первичной обмотки. Уменьшение числа витков первичной обмотки и её индуктивности необходимо для снижения ЭДС самоиндукции в ней и предотвращения пробоя транзистора. Катушки контактных систем зажигания и КТСЗ не взаимозаменяемы.

Распределитель зажигания. Распределитель КТСЗ выполняет те же функции, что и распределители классической контактной системы зажигания и аналогичны по конструкции, однако отличаются отсутствием конденсатора. В роторе распределителя Р137 установлен помехоподавительный резистор. Регулирование УОЗ осуществляется центробежным и вакуумным автома-

тами в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя. Начальный УОЗ устанавливается с помощью гаек октан-корректора. Требуемая характеристика центробежного регулятора обеспечивается соответствующей конфигурацией грузиков и жесткостью пружин.

Транзисторный коммутатор. Транзисторный коммутатор ТК 102 имеет литой алюминиевый корпус с ребристой поверхностью для лучшего теплоотвода. Внутри корпуса размещены конденсатор, импульсный трансформатор и блок, залитый полиэфирным компаундом, в котором размещены остальные элементы коммутатора. Теплоотвод предотвращает перегрев стабилитрона. Транзистор находится в углублении корпуса. В первых конструкциях транзистор заливался эпоксидной смолой. Снизу к корпусу коммутатора заклёпками прикреплено металлическое основание. Выводы **Р**, **К**, **М** и один вывод без обозначения находятся на колодке, установленной на боковой стенке корпуса. Поскольку германиевый транзистор ГТ 701А имеет низкую максимальную рабочую температуру (75 °С), коммутатор устанавливается в кабине водителя.

Добавочный резистор. По условиям нагрева катушки мощность потерь в ней не должна превышать предельно допустимый уровень. Поскольку в КТСЗ сила тока разрыва первичной цепи катушки зажигания повышена по сравнению с классической контактной системой зажигания, во избежание перегрева первичной обмотки её сопротивление уменьшено, что потребовало введения в цепь питания катушки добавочного резистора, состоящего из двух резисторов $R_{ДН}$ и $R_{ДЗ}$ (рис. 42). Резистор $R_{ДН}$ включен в цепь первичной обмотки постоянно. Резистор $R_{ДЗ}$ при пуске двигателя так же, как и в контактной системе, замыкается накоротко контактами реле включения или тягового реле стартера, чем обеспечивается компенсация снижения напряжения аккумуляторной батареи, работающей в стартерном режиме разряда.

Оба резистора $R_{ДН}$ и $R_{ДЗ}$ размещены в одном корпусе. Каждый резистор выполнен в виде спиралей из константановой проволоки, закрепленной на изоляторах. Блок резисторов имеет три вывода: **К**, **ВК**, **ВК-Б**, к которым пластинами присоединены концы резисторов.

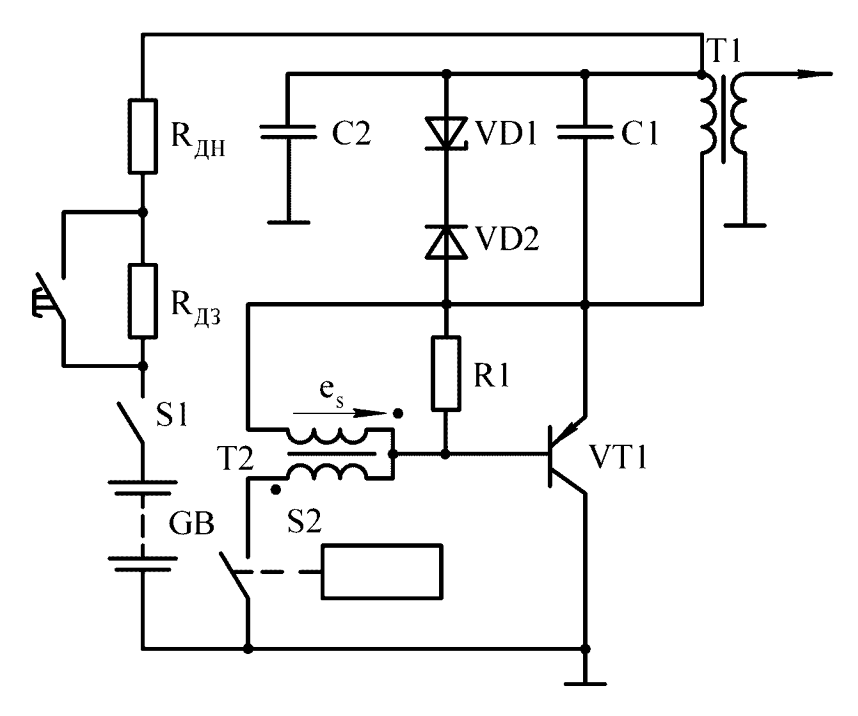


Рисунок 42 – Схема КТСЗ с транзисторным коммутатором ТК 102

7.3. КОНСТРУКЦИЯ АППАРАТОВ БЕЗКОНТАКТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

В бесконтактных транзисторных системах зажигания (БТСЗ) функцию синхронизаторов момента зажигания выполняют бесконтактные датчики, как правило, конструктивно объединенные в датчиках-распределителях с устройством распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя. Датчики могут быть параметрическими или генераторными.

Параметрические датчики изменяют те или иные параметры в электрической цепи управления (сопротивление, индуктивность, ёмкость).

Генераторные датчики в управляющих цепях являются источниками тока. Работа датчиков основана на использовании различных физических явлений. Широко известны магнитоэлектрические, фотоэлектрические, оптоэлектронные, индуктивные и взаимосвязанные датчики, пьезодатчики, датчики на магнисторах, на эффектах Холла и Виганда и др.

Взаимоиндуктивные параметрические датчики вырабатывают сигнал управления при изменении магнитной связи между обмотками или их индуктивности.

Датчики на магнисторах изменяют напряжение на выводах обмотки, намотанной на отрезок специально обработанной магнитной проволоки. При перемагничивании данного отрезка проволоки за счёт коммутации магнитного потока от неподвижных магнитов или от вращающихся магнитов в обмотке возникают кратковременные импульсы напряжения.

В фотодатчиках используются фотоэлементы, преобразующие энергию импульсов в электрическую энергию, а также фоторезисторы, фотодиоды и фототранзисторы, сопротивление которых изменяется с изменением силы падающего на них света. Для изменения силы света между источником света и фотодатчиком устанавливается непрозрачная цилиндрическая шторка или диск с прорезями. Число прорезей должно быть равно числу цилиндров двигателя. Привод шторки или диска осуществляется от коленчатого вала двигателя.

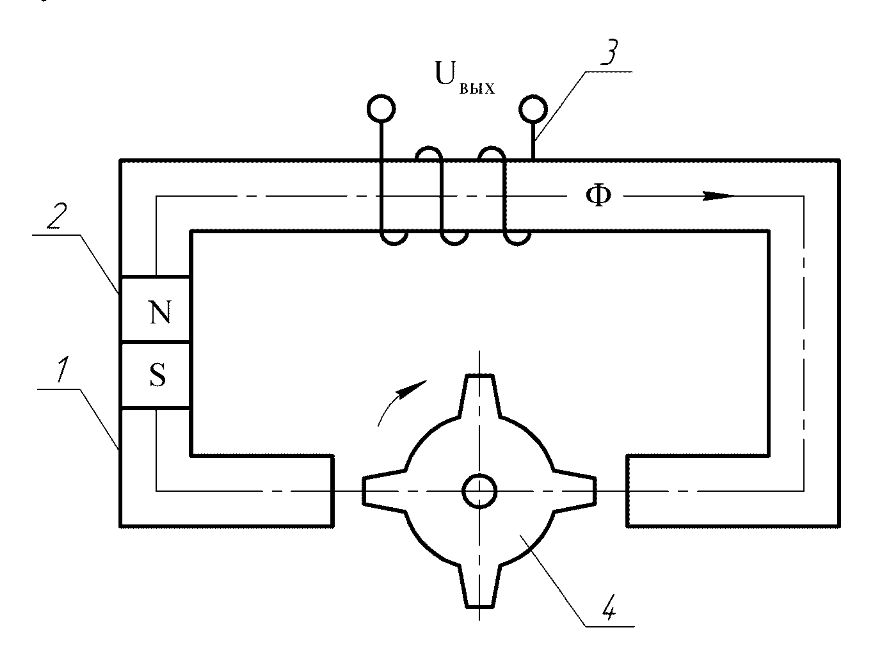
В пьезодатчиках управляющим сигналом является импульс ЭДС, возникающий в некоторых кристаллах при механическом воздействии на них.

Наибольшее распространение в БТСЗ на отечественных автомобилях получили магнитоэлектрические датчики и датчики Холла, обеспечивающие высокую точность отслеживания момента искрообразования и обладающие повышенной помехозащищенностью и стойкостью к внешним воздействиям.

7.4. МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ

Действие магнитоэлектрических датчиков (МЭД) основано на явлении электромагнитной индукции. МЭД представляет собой однофазный генератор переменного тока с возбуждением от постоянных магнитов, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую. Различают МЭД коммутаторного типа с пульсирующим магнитным потоком и с вращающимися магнитами, знакопеременным магнитным потоком и симметричной формой выходного напряжения $U_{вых}$.

Схема генераторного датчика коммутаторного типа приведена на рисунке 43.



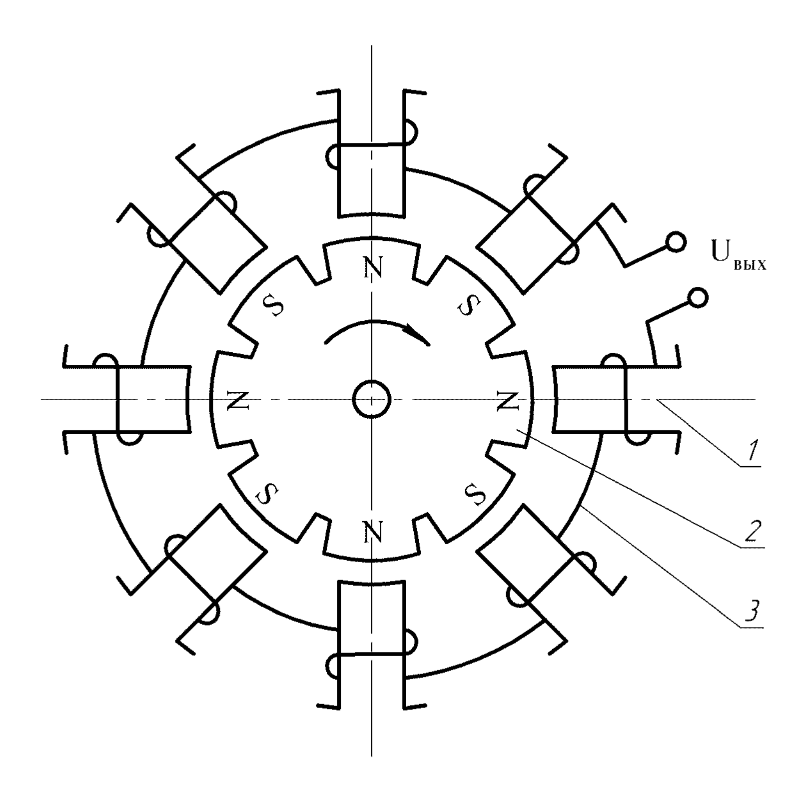
1 – магнитопровод статора; 2 – постоянный магнит; 3 – обмотка статора; 4 – коммутатор.

Рисунок 43 – Схема генераторного датчика коммутаторного типа

Принцип его действия основан на изменении магнитного сопротивления магнитной цепи датчика и магнитного потока, пронизывающего обмотку **3**, при изменении длины воздушного зазора между зубцами вращающегося ротора-коммутатора **4** и полюсными наконечниками неподвижного статора, в магнитопроводе которого установлен постоянный магнит **2**.

При вращении зубчатого ротора из магнитомягкой стали в обмотке статора в соответствии с законом электромагнитной индукции наводится переменная ЭДС. Когда пара зубцов набегает на полюсные наконечники статора, магнитный поток растёт, а после достижения максимального значения и удаления зубцов ротора от полюсных наконечников статора – уменьшается.

МЭД с вращающимися магнитами состоят из неподвижной обмотки **3** статора **1** и постоянного магнита **2**, жестко связанного с валиком датчика распределителя (рис. 44). Число пар полюсов магнита равно числу цилиндров двигателя.



1 – статор; 2 – постоянный магнит; 3 – обмотка статора.
Рисунок 44 – Схема МЭД с вращающимся магнитом для четырехцилиндрового двигателя

Конструктивно ротор МЭД, устанавливаемых в датчиках-распределителях БТСЗ, представляет собой кольцевой постоянный магнит, размещенный между двумя частями когтеобразной магнитной системы с полюсными наконечниками. Кольцевая обмотка статора расположена между двумя обоймами и магнитной системой статора с когтеобразными наконечниками, число пар которых равно числу пар полюсных наконечников ротора.

При вращении ротора в магнитной системе статора изменяется магнитный поток, пронизывающий обмотку статора, и на выходе датчика появляются близкие к синусоидальным импульсы напряжения. Развиваемое датчиком напряжение подаётся на вход транзисторного коммутатора БТСЗ, который коммутирует ток в первичной цепи катушки зажигания, обеспечивая накопление энергии в ней и возникновение высокого вторичного напряжения в момент искрообразования с соответствующим УОЗ.

Недостатками МЭД являются значительная индуктивность обмотки и влияние на амплитуду, а также скважность вырабатываемого сигнала управления частоты вращения ротора датчика.

7.5. ДАТЧИК ХОЛЛА

Работа датчика Холла (ДХ) основана на использовании гальвано-магнитного эффекта в элементе Холла (рис. 45).

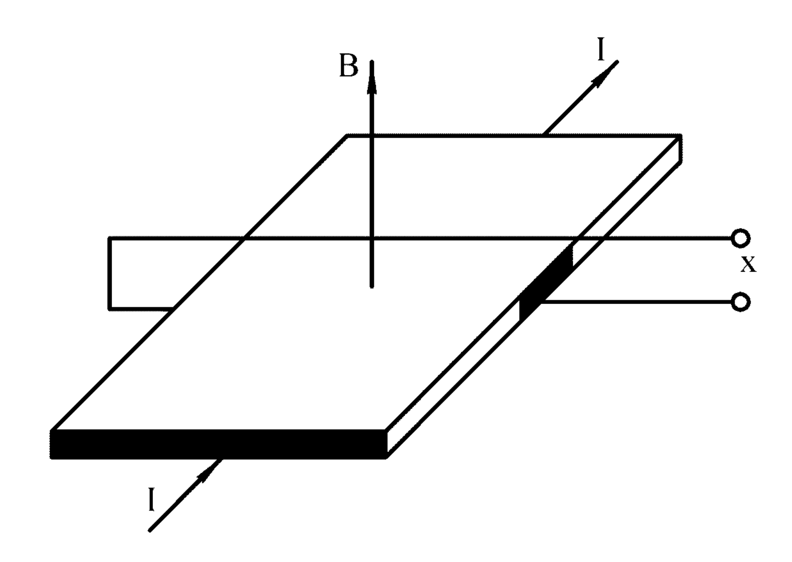
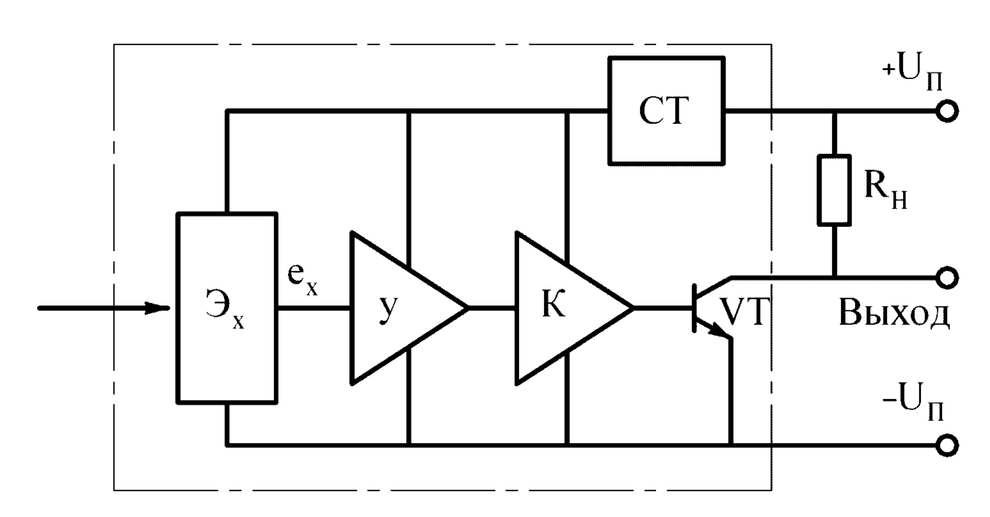


Рисунок 45 – Полупроводниковый элемент Холла

Элемент представляет собой тонкую пластину с четырьмя выводами, выполненную из полупроводниковых материалов: германия, кремния, арсенида галлия, арсенида индия. Толщина пластины из полупроводникового кристалла составляет 10^{-4} м.

Схема переключателя на эффекте Холла приведена на рисунке 46.

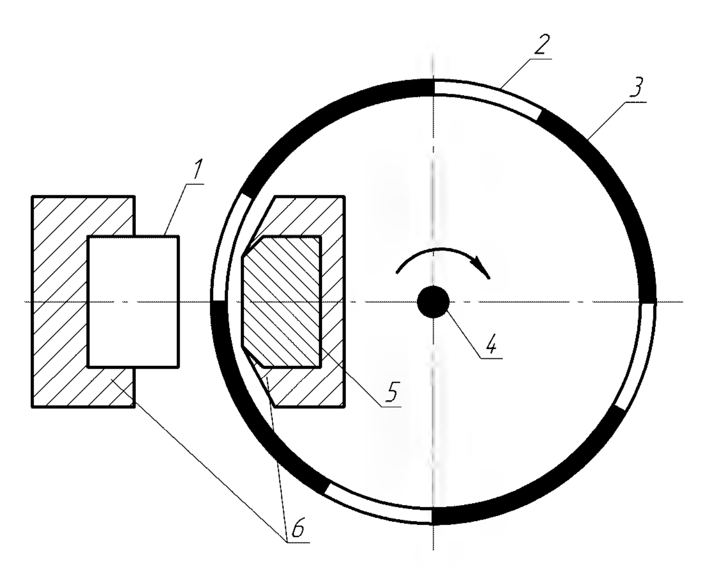


R_H – нагрузка датчика; e_X – ЭДС элемента Холла.

Рисунок 46 – Схема микропереключателя на эффекте Холла

ЭДС Холла очень мала, зависит от силы тока в пластине (от напряжения питания $U_п$) и температуры, поэтому ДХ помимо элемента Холла (ЭХ) включает в себя преобразователь с усилителем (У), пороговый элемент (К), выходной каскад на транзисторе VT и стабилизатор напряжения СТ. Конструктивно и технологически ДХ выполнен в виде одной микросхемы, называемой магнитоуправляемой интегральной схемой.

Магнитное поле в датчике создаётся постоянным магнитом **5** (рис. 47).



1 – магнитоуправляемая интегральная схема; 2 – ротор; 3 – экран; 4 – валик датчика-распределителя; 5 – магнит; 6 – корпус микропереключателя.

Рисунок 47 – Схема датчика Холла

Магнитная система и магнитоуправляемая интегральная схема **1**, объединенные в одном корпусе **6**, образуют микропереключатель на эффекте Холла. Коммутация магнитного потока осуществляется ротором **2** в виде шторки с экранами **3** и прорезями, выполненными из магнитомягкой стали. Ротор связан с валиком **4** датчика-распределителя и вместе с ним вращается. Число прорезей равно числу цилиндров двигателя.

При прохождении около постоянного магнита прорези ротора силовые линии его магнитного поля пронизывают поверхность элемента Холла, и на его выходе появляется ЭДС e_X. Когда в зазоре между магнитоуправляемой интегральной схемой и магнитом находится экран ротора, происходит шунтирование маг-

нитного потока, и ЭДС снижается до минимума. При периодическом изменении магнитного потока на выходе ДХ формируется сигнал об угловом положении коленчатого вала двигателя в виде импульсов прямоугольной формы. В ДХ обеспечивается гистерезис переключения входного напряжения, так как уровни ЭДС Холла, соответствующие включению и выключению порогового элемента не совпадают. Частота вращения ротора почти не влияет на фронт и срез импульса ЭДС, поэтому смещение УОЗ у ДХ значительно меньше, чем у генераторного МЭД.

Катушки зажигания Б118 и Б116 выполнены по трансформаторной схеме и по конструктивному исполнению незначительно отличаются от катушек зажигания контактных и контактно-транзисторных систем зажигания. Катушка зажигания Б118 экранированная, маслонаполненная, герметизированная с коэффициентом трансформации, равным 116, рассчитана на работу при напряжении бортовой сети автомобиля 12 и 24 В.

Нихромовые спирали двух секций **добавочного резистора** размещены в металлическом корпусе. Выводы, к которым присоединены концы секций, имеют маркировку +, **С** и **К**. Величина сопротивления секции между выводами + и **С** составляет 0,71 Ом, а секции между выводами **С** и **К** – 0,52 Ом.

Датчик-распределитель 24.3706 обеспечивает управление работой транзисторного коммутатора, распределение импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя в соответствии с порядком их работы, автоматическое регулирование момента зажигания от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя аналогичен предыдущим конструкциям распределителей и имеет внутри бесконтактный МЭД.

Электронный коммутатор 36.3734 содержит несколько блоков функционального назначения: времени накопления, ограничения силы тока, безыскровой отсечки, ограничения напряжения электроснабжения. Выходной каскад с соответствующими управляющими импульсами от блоков времени накопления, ограничения силы тока и безыскровой отсечки формирует импульсы тока в первичной цепи катушки зажигания требуемой скважности и амплитуды.

Работа электронного коммутатора основана на принципах действия логических элементов.

7.6. КОНСТРУКЦИЯ АППАРАТОВ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

Датчики положения и перемещения. Для получения цифровой информации о частоте вращения и положении коленчатого вала применяют профилированный зубчатый диск, жёстко связанный с коленчатым валом двигателя. Часто для такой цели используется зубчатый венец маховика с дополнительным опорным (установочным) зубом или штифтом из магнитомягкой стали, обеспечивающим формирование датчиком начала отсчёта (ДНО) импульса, который соответствует положению поршня первого цилиндра в ВМТ. Импульсы ДНО появляются периодически с частотой, пропорциональной частоте вращения коленчатого вала, и служат для синхронизации функционирования системы управления моментом искрообразования с рабочими процессами в цилиндрах двигателя.

При вращении зубчатого диска (или маховика с зубчатым венцом) с равномерно расположенными по всей окружности зубьями датчик угловых импульсов (ДУИ) вырабатывает серию импульсов, по числу которых после прохождения ВМТ, т.е. после появления сигнала ДНО, определяется угловое положение коленчатого вала. Частота вращения коленчатого вала определяется по числу импульсов, вырабатываемых ДУИ в течение заданного периода времени, или по числу импульсов генератора постоянной высокой частоты (ГВЧ), подсчитываемых за временной интервал между двумя следующими друг за другом импульсами ДУИ.

Наибольшее распространение в цифровых и микропроцессорных системах зажигания получили индуктивные ДНО и ДУИ.

Датчики давления. Информация о нагрузке двигателя поступает от датчика абсолютного давления или вакуума во впускном трубопроводе, аналоговый сигнал которого преобразуется в цифровой код в аналого-цифровом преобразователе (АЦП).

В пневмоэлектрических датчиках потенциометрического типа изменение давления преобразуется в изменение напряжения или силы тока за счёт перемещения движка потенциометра с помощью мембранного или сильфонного чувствительного элемента.

Наиболее надежны индуктивные датчики, в которых в результате перемещения стального магнитопровода чувствительный элемент (мембрана, сильфон) в индукционной катушке индуктирует ЭДС. На выходе разбалансированного моста появляется электрический сигнал, поступающий после усиления в блок управления системы зажигания.

Более совершенные и менее дорогостоящие интегральные полупроводниковые датчики давления выполняют функцию преобразования неэлектрической величины в электрический сигнал и осуществляют его дальнейшую обработку.

Датчики температуры. Сигналы от датчика температуры охлаждающей жидкости (или головки блока цилиндров двигателей воздушного охлаждения) в цифровых и микропроцессорных системах зажигания используются в качестве корректирующей информации. Чувствительными элементами в датчиках температуры могут быть терморезисторы (термисторы или позисторы) и термометры сопротивления, размещаемые в металлическом корпусе. Полупроводниковые терморезисторы обладают высокой чувствительностью, однако имеют нестабильные и нелинейные характеристики и подвержены старению. Перспективными являются датчики температуры на основе металлополимерных чувствительных элементов, в которых термочувствительный элемент и формирователь сигнала выполнены на одном кристалле.

Датчики детонации. Существует множество типов датчиков детонации, отличающихся по конструкции и принципу действия. От типа датчика зависит место его расположения на двигателе.

Наибольшее распространение получили пьезокварцевые вибродатчики на основе пьезоэлектрических преобразователей: они просты по конструкции, надёжны в работе, имеют небольшие габариты. Принцип работы вибродатчика заключается в преобразовании вибрации какой-либо поверхности двигателя (например, стенки блока цилиндров) в электрический сигнал. Выходной сигнал датчика требует специальной обработки для точной регистрации момента возникновения детонации.

Датчик детонации необходимо устанавливать в таком месте, в котором создается надежная регистрация начала детонации во всех цилиндрах ДВС.

Контрольные вопросы

1. В чём заключаются конструктивные отличия катушки зажигания с разомкнутой магнитной цепью от замкнутой?

2. С какой целью в распределителе зажигания устанавливается помехоподавительный резистор?

3. Из каких основных элементов состоит транзисторный коммутатор?

4. Какую функцию выполняет добавочный резистор в системе зажигания?

5. Какие типы датчиков используются в бесконтактных системах зажигания?

6. На каком принципе действия работают магнитоэлектрические датчики?

7. В чём заключается сущность эффекта Холла?

8. Какие типы датчиков используются в микропроцессорных системах зажигания?

8. СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ И ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРОВОДА

8.1. УСЛОВИЯ РАБОТЫ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ НА ДВИГАТЕЛЕ

Свеча зажигания обеспечивает воспламенение горючей смеси в цилиндре бензинового двигателя электрической искрой, которая возникает между электродами свечи при подаче на нее высокого вторичного напряжения от катушки зажигания.

По принципу работы различают свечи с воздушным искровым промежутком, со скользящей искрой, полупроводниковые, многоискровые, форкамерные и другие, по исполнению – неэкранированные (открытого типа) и экранированные. От совершенства конструкции свечи зажигания, правильного подбора её к двигателю в значительной мере зависят надежность работы системы зажигания и двигателя.

Автомобильные двигатели отличаются по характеру нагрузки, степени сжатия, типу системы охлаждения, способу управления топливоподачей, организации процесса смесеобразования и многим другим факторам. Поэтому невозможно создать одну конструкцию свечи зажигания для всех двигателей. Свечи зажигания могут существенно отличаться по конструктивному исполнению, применяемым материалам и характеристиками. Для правильного выбора свечи зажигания, которая обеспечивает наилучшие мощностные и экономические показатели двигателя, необходимо иметь полное представление об условиях её работы на двигателе.

При работе на двигателе свеча зажигания подвергается комплексному циклическому воздействию высоких механических, электрических и химических нагрузок. Диапазоны изменения этих нагрузок очень широки. Частота циклов действующих на свечу зажигания нагрузок зависит от частоты вращения коленчатого вала и тактности двигателя. По мере развития двигателестроения и форсирования двигателей интенсивность воздействия перечисленных нагрузок на свечу зажигания возрастает. Срок службы свечей на разных двигателях различен. Снижению срока

службы свечей зажигания способствует наличие в бензине антидетонационных присадок, содержащих свинец. Свеча зажигания подвергается воздействию не только циклических нагрузок внутри камеры сгорания, но и внешних климатических факторов.

Тепловые нагрузки. Температура газовой среды в камере сгорания двигателя колеблется от 70 °С, что соответствует температуре свежего заряда топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндр, до 2000-2700 °С (максимальная температура цикла). В то же время в подкапотном пространстве двигателя окружающей свечу зажигания воздух может иметь температуру -60…+100 °С. Из-за неравномерного нагрева отдельных участков свечи в ней возникают тепловые деформации и напряжения, опасные тем, что в конструкции свечи использованы материалы с различными коэффициентами линейного расширения (различные металлы, сплавы металлов, керамика). Указанный перепад температур свеча должна выдерживать без потери работоспособности.

Механические нагрузки. В каждом цикле сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя на свечу зажигания действует значительная ударная нагрузка, стремящаяся вырвать изолятор свечи из корпуса. Максимальное давление цикла достигает 5-6 МПа. В процессе сборки свечи зажигания по существующей технологии при завальцовке в корпус и термоосадке изолятор подвергается усилию сжатия 25-30 кН. При ввертывании свечи в головку блока цилиндров к её корпусу прикладывается вращающий момент 40-60 Н·м. При длительной эксплуатации величина вращающего момента может значительно увеличиться из-за образования нагара на резьбе или срыва резьбы в головке цилиндров. На работающем двигателе свеча зажигания испытывает также вибрационные нагрузки.

Электрические нагрузки. Свеча зажигания периодически находится под высоким вторичным напряжением системы зажигания, величина которого может достигать 30 кВ. Электрическая нагрузка на свечу возрастает с увеличением искрового промежутка между электродами, при скруглении острых кромок на центральном электроде и образовании выемки на боковом электроде вследствие электрической эрозии. Интенсивность изнашивания электродов дополнительно возрастает из-за того, что в продуктах сгорания находятся вещества, вызывающие химиче-

скую коррозию электродов. Такие вещества могут оказывать воздействие даже на керамический изолятор. Опыт эксплуатации показывает, что в процессе работы свечи зажигания зазор между электродами увеличивается в среднем на 0,015 мм на 1000 км пробега автомобиля. С целью повышения экономичности двигателя за счёт использования обедненных топливовоздушных смесей зазор между электродами свечей увеличивают до 1,2-1,5 мм, что неизбежно приводит к необходимости роста вторичного напряжения системы зажигания и, как следствие, к повышению электрических нагрузок на свечу.

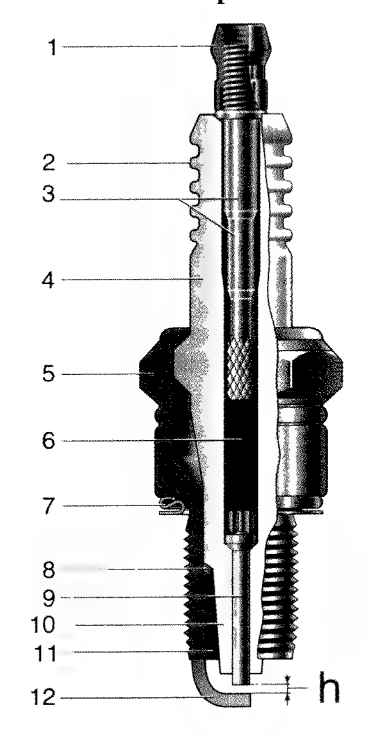
Шунтирование искрового промежутка свечи. Неполное сгорание топлива в цилиндре двигателя приводит к отложению токопроводящего нагара на поверхности теплового корпуса изолятора свечи зажигания. Нагар образуется также вследствие попадания на тепловой конус моторного масла. Смазочный материал является изолятором, но когда он смачивает слой ранее отложившегося нагара, то образующееся при этом вещество становится электропроводным. Вероятность появления нагара на тепловом конусе изолятора возрастает при работе двигателя на бензине с антидетонационными присадками.

Токопроводящий нагар на тепловом конусе изолятора шунтирует искровой промежуток свечи, вызывает утечку тока при росте напряжения во вторичной цепи катушки зажигания. Вторичное напряжение, подводимое к электродам свечи зажигания, уменьшается. Чем меньше шунтирующее сопротивление, тем больше сила тока утечки и меньше подводимое к электродам свечи вторичное напряжение. Напряжение во вторичной цепи системы зажигания может оказаться равным или меньшим напряжения пробоя. В данном случае возникают перебои в искрообразовании.

Прекращение искрообразования возможно из-за конденсации влаги на холодном тепловом конусе свечи при пуске двигателя. К аналогичному результату может привести утечка тока, а иногда и разряд по наружной поверхности изолятора, находящейся в подкапотном пространстве, если она загрязнена или покрыта влагой. Поэтому материал изолятора не должен поглощать влагу, а поверхность изолятора должна быть стойкой к смачиванию.

8.2. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ИСКРОВЫХ СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

Наибольшее распространение на автомобилях получили неэкранированные свечи зажигания с воздушным искровым промежутком. Первоначально выпускавшиеся отечественные свечи были разборной конструкции, в настоящее время выпускаются только неразборные свечи. При всем разнообразии конструкций любая искровая свеча зажигания включает в себя керамический изолятор**, металлический корпус, электроды и контактную головку** для соединения с высоковольтным проводом (рис. 48).



1 – контактная гайка; 2 – оребрение изолятора (барьеры для тока утечки); 3 – контактный стержень; 4 – керамический изолятор;
5 – металлический корпус; 6 – пробка стеклогерметика; 7 – уплотнительное кольцо;
8 – теплоотводящая шайба; 9 – центральный электрод; 10 – тепловой конус изолятора;
11 – рабочая камера; 12 – боковой электрод «массы»; h – искровой зазор.

Рисунок 48 – Устройство искровой свечи зажигания

Для обеспечения бесперебойности искрообразования изолятор должен обладать необходимой электрической прочностью даже при высокой рабочей температуре. Напряжение, прикладываемое к изолятору в процессе работы двигателя, равно напряжению пробоя искрового зазора. Это напряжение возрастает с увеличением давления и величины зазора и уменьшается по мере возрастания температуры. На двигателях с классической системой зажигания используют свечи с искровым зазором 0,5-0,7 мм (максимальное напряжение пробоя достигает 12-15 кВ). На двигателях с электронными системами зажигания установочный искровой зазор составляет 0,8-1,0 мм, в процессе эксплуатации он

может увеличиваться до 1,3-1,5 мм (максимальное напряжение пробоя достигает 20-25 кВ).

Конструкция изолятора – это цилиндр с осевым отверстием для установки центрального электрода. В средней части изолятора имеется утолщение, так называемый «поясок» для соединения с корпусом. Ниже пояска расположена более тонкая цилиндрическая часть – «дульце», переходящая в тепловой конус. Выше пояска расположена «головка», а в месте перехода от пояска к головке расположено плечико под завальцовку буртика корпуса при сборке свечи.

Современные изоляторы изготавливаются из высокоглиноземистой конструкционной керамики на основе оксида алюминия. Данная керамика содержит около 95 % оксида алюминия и способна выдерживать температуру до 1600 °C, иметь высокую электрическую и механическую прочность. Для исключения возможности электрического пробоя по поверхности изолятора его головку снабжают кольцевыми канавками (барьерами тока) и покрывают специальной глазурью для защиты от возможного загрязнения.

Металлический корпус предназначен для установки свечи в двигатель и обеспечения герметичности соединения с изолятором. К его торцу приваривается боковой электрод, а в конструкциях с кольцевым искровым зазором корпус непосредственно выполняет функцию электрода «массы».

Корпус изготавливают штамповкой или точением из конструкционных малоуглеродистых сталей. Внутри корпуса имеется кольцевой выступ с конической поверхностью, на которую опирается изолятор. На цилиндрической части корпуса выполнена кольцевая проточка, так называемая термоосадочная канавка. В процессе сборки свечи верхний буртик корпуса завальцовывают на поясок изолятора. Затем его нагревают и осаживают на прессе, при этом термоосадочная канавка подвергается пластической деформации, и корпус плотно охватывает изолятор. В результате термоосадки корпус оказывается в напряженном состоянии, что обеспечивает герметичность свечи на весь срок службы.

Для улучшения эффективности воспламенения электроды свечи должны быть как можно более тонкими и длинными, а искровой зазор должен иметь максимально допустимую величину.

С другой стороны, для обеспечения долговечности электроды должны быть достаточно массивными. Следовательно, в зависимости от требований мощности, топливной экономичности и токсичности двигателей, с одной стороны, и требований к долговечности свечи, с другой стороны, к каждому типу двигателя разрабатывается своя конструкция электродов.

В современных свечах зажигания центральный электрод изготавливают биметаллическим: из меди с жаростойкой оболочкой на основе *Ni – Cr – Fe*. Данный электрод в отличие от монометаллического при работе двигателя имеет меньшую температуру и, соответственно, больший ресурс. Когда требуется увеличить ресурс свечи, применяют два электрода «массы». На свечах зарубежного производства с этой целью применяют три или четыре боковых электрода.

Боковой электрод «массы» должен обладать высокой жаростойкостью и стойкостью к коррозии. Он также должен обладать хорошей свариваемостью с обычной конструкционной сталью, из которой изготавливают корпус, поэтому применяют сплав *никель – марганец* (*НМц-5*). Боковой электрод должен обладать хорошей пластичностью для обеспечения возможности регулирования искрового зазора. С целью снижения гасящего влияния электродов при доработке свечей на электродах выполняют канавки, в электроде «массы» выполняют сквозные отверстия.

На резьбовую часть контактного стержня устанавливают контактную гайку, если это требуется конструкцией наконечника высоковольтного провода. В некоторых свечах зажигания контактный стержень не имеет резьбовой головки, она сразу выполняется в форме контактной гайки.

Искровой разряд является источником электромагнитных помех, в том числе при радиоприеме. Для их подавления в экранированных свечах между центральным электродом и контактной головкой устанавливают резистор, имеющий при температуре 25±10 °С электрическое сопротивление от 4,0 до 13,0 кОм. В процессе эксплуатации допускается изменение данного сопротивления в диапазоне 2,0–50 кОм после воздействия температуры от -40 до +300 °С и импульсов высокого напряжения.

8.3. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПЛАЗМЕННО-ФОРКАМЕРНОЙ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

Плазменно-форкамерная свеча зажигания представлена на рисунке 49.

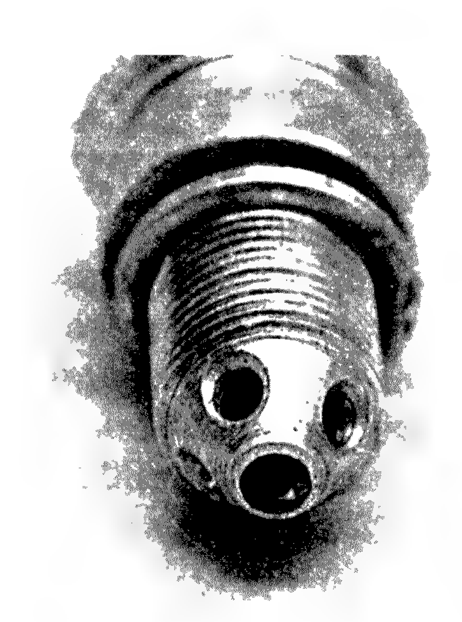


Рисунок 49 – Устройство плазменно-форкамерной свечи зажигания

Принцип действия свечи основан на комбинации импульсного ускорения плазмы и форкамерного зажигания. Электроды свечи выполнены в виде сопла с центральным телом ракетного двигателя и внутри корпуса образуют полость – форкамеру. В процессе такта сжатия в двигателе внутреннего сгорания форкамера заполняется топливной смесью. При подаче импульса высокого напряжения на электроды свечи электрический пробой происходит в критическом сечении сопла в радиальном направлении, после чего образовавшийся плазменный сгусток (искровой разряд) выталкивается при такой геометрии разрядного контура электродинамическими силами в камеру сгорания ДВС. В процессе движения плазменного сгустка происходит интенсивный поджиг рабочей смеси в камере сгорания (в этом заключается первое существенное отличие рабочего процесса в плазменно-форкамерной свече от обычной, в которой воспламенение рабочей смеси происходит практически от точечной неподвижной искры). Одновременно происходит поджигание топливной смеси и

во внутренней полости свечи – форкамере. При этом давление газов в форкамере резко повышается, обгоняя за счет маленького объёма форкамеры рост давления в камере сгорания ДВС, и факел пламени истекает через сопло свечи в цилиндр ДВС, завершая процесс поджига основного топливного заряда. При этом происходит очищение электродов свечи (т.е. стенок сопла и центрального тела) от частичек нагара высокоскоростным газовым потоком (в этом заключается второе принципиальное отличие работы плазменно-форкамерной свечи от обычной). При такте сжатия в ДВС происходит заполнение форкамеры рабочей смесью и охлаждение стенок сопла.

Плазменно-форкамерные свечи предоставляют ряд возможностей для ДВС:

- увеличение мощности двигателя за счёт более полного сгорания топлива;
- повышение экономичности двигателя при сохранении мощности;
- улучшение динамических характеристик автомобиля.

Плазменно-форкамерные свечи обеспечивают:

- устойчивую работу на низкооктановом бензине, уменьшая вероятность детонационного сгорания;
- надежный пуск при пониженных температурах;
- снижение токсичности выхлопных газов (на 10…25%);
- плавный ход и превосходную приспособляемость двигателя;
- повышенный ресурс работы за счет самоочищения электродов потоком истекающих из форкамеры газов и увеличенной рабочей поверхности электродов.

Плазменно-форкамерным свечам свойственны следующие недостатки:

- большое гасящее влияние электродов;
- затрудненность вентиляции форкамеры;
- дополнительные тепловые потери при перетекании горящих газов из форкамеры в цилиндр.

8.4. ТЕПЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

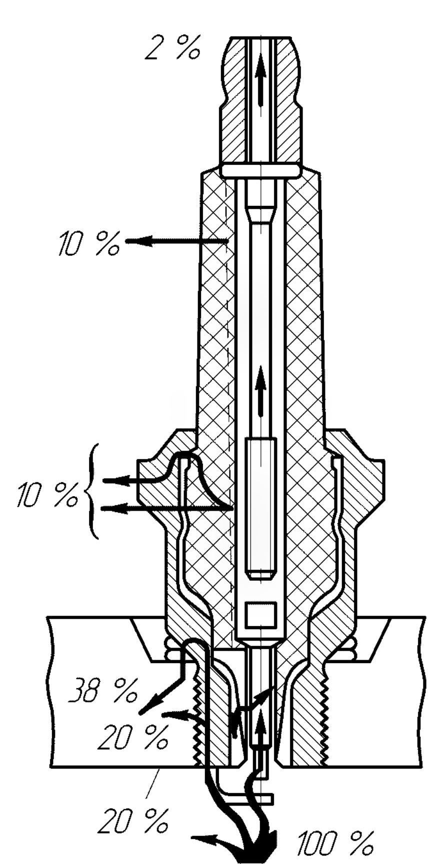
Искровая свеча зажигания обеспечивает работу двигателя без перебоев в искрообразовании и калильного зажигания топливовоздушной смеси, если температура теплового конуса изолятора, расположенного в камере сгорания, находится от 400-450 до 850-900 °С.

Нижняя граница указанного температурного диапазона определяется условием самоочищения теплового конуса изолятора свечи от нагара. Для быстрого прогрева до температуры самоочищения при пуске двигателя и достаточного нагрева при работе двигателя на режимах холостого хода и частичных нагрузок тепловой конус изолятора свечи должен иметь максимально допустимую длину. В то же время тепловой конус изолятора и центральный электрод не должны нагреваться до температуры свыше 850-900 °С при работе двигателя с полной нагрузкой во избежание воспламенения топливовоздушной смеси от накаленных частей свечи до появления искры между электродами.

Калильное зажигание характеризуется падением развиваемой двигателем мощности, а так же резким повышением температуры и давления газов в цилиндре, приводящим к серьезным неисправностям двигателя: прогару колец поршня, разрушению деталей кривошипно-шатунного механизма, оплавления выпускного клапана, изолятора и электродов свечи зажигания. В связи с большей длительностью нахождения в цилиндре газов с высокой температурой при раннем воспламенении горючей смеси от накаленных частей свечи резко возрастает температура стенок камеры сгорания, что неизбежно ведет к прогрессивному развитию процессов калильного зажигания. Оплавление электродов не обязательно свидетельствует о том, что именно свеча была причиной калильного зажигания. Часто электроды свечи, и без того испытывающие высокие тепловые нагрузки, выгорают в результате калильного зажигания от каких-либо деталей, находящихся в камере сгорания.

Условия работы свечей зажигания на различных двигателях существенно отличаются, тогда как температурные пределы нормальной её работоспособности практически одинаковы. Поэтому невозможно создать свечу, одинаково хорошо работающую на всех

двигателях. Свечи различают, в основном, по тепловой характеристике, под которой понимается её способность воспринимать теплоту от рабочих газов в цилиндре и передавать её в окружающую среду, нагреваясь до температур, находящихся в определенном диапазоне. Тепловую характеристику изменяют за счёт изменения количества теплоты, поступающей в свечу, добиваясь наилучшего теплоотвода от неё.



Количество теплоты, передаваемой свече, зависит от степени сжатия, формы камеры сгорания, материала поршня и головки блока цилиндров, способа охлаждения, нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Чем больше количество теплоты, выделяемой в камере сгорания, тем больше должна быть теплоотдача свечи.

Теплоотдача от свечи в окружающую среду осуществляется через её корпус, изолятор, центральный и боковой электроды (рис. 50) часть теплоты (около 20 %) отводится от свечи, поступающей в камеру сгорания свежей топливовоздушной смесью.

Рисунок 50 – Тепловой баланс свечи зажигания

Теплоотдача свечи зависит от длины теплового конуса изолятора. При длинном тепловом конусе изолятора отвод теплоты от него затрудняется: свеча с длинным тепловым конусом получает большое количество теплоты и плохо охлаждается. Такую свечу принято называть «горячей» (рис. 51). Короткий тепловой конус изолятора, обеспечивающий хорошую теплопередачу, характерен для «холодных» свечей. При установке «горячей» свечи на форсированный быстроходный двигатель возникнет калильное зажигание, тогда как на изоляторе «холодной» свечи, установленной на

тихоходном двигателе с низкой степенью сжатия, будет откладываться нагар, шунтирующий искровой промежуток.

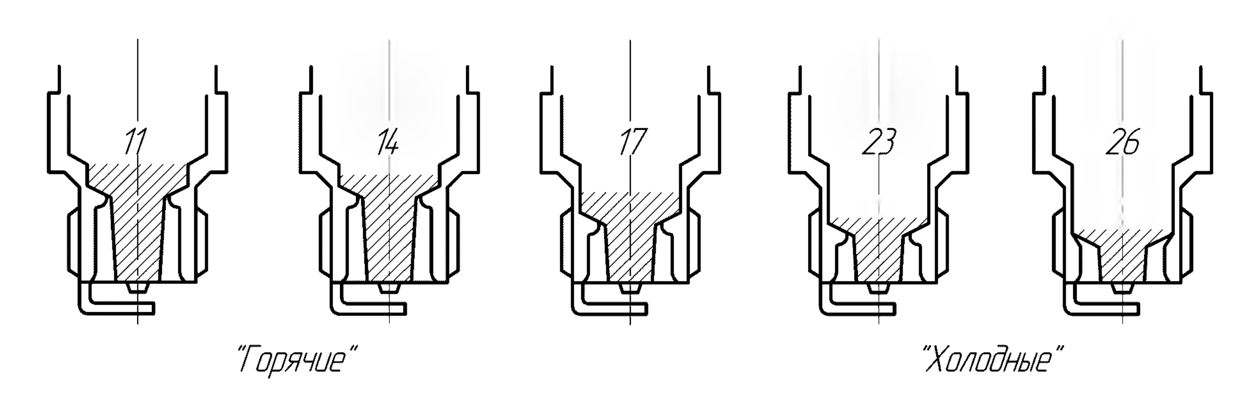


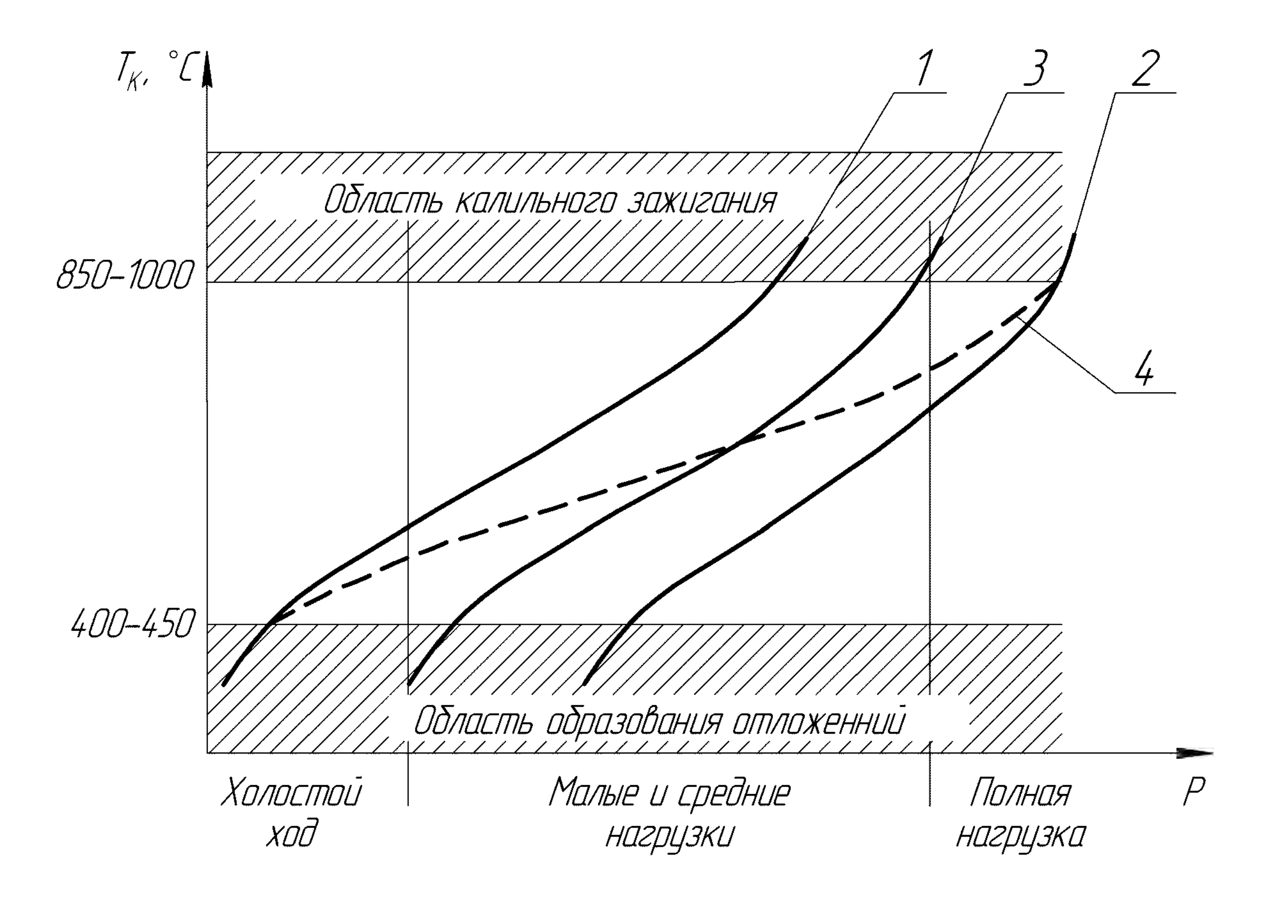
Рисунок 51 – Свечи с различными тепловыми характеристиками

Тепловую характеристику свечи зажигания оценивают калильным числом (величина, пропорциональная среднему индикаторному давлению, при котором во время испытания свечи на специальной моторной установке с одноцилиндровым двигателем возникает калильное зажигание). Калильное число выбирается из следующего ряда чисел: **8**, **11**, **14**, **17**, **20**, **23**, **26**.

Малые значения калильных чисел относятся к «горячим» свечам, высокие значения – к «холодным».

В некоторых странах за калильное число принимают время, в течение которого эталонный двигатель работает до начала калильного зажигания. Так, калильные числа свечей зажигания фирмы «Бош» (Bosch) находятся в пределах 45-260 условных единиц.

«Холодная» свеча с высоким калильным числом не обеспечивает необходимый тепловой режим изолятора при работе двигателя в режиме холостого хода и при малых нагрузках (рис. 52, кривая 2). Очевидно, что на этих режимах обеспечивается нормальная работа «горячей» свечи с меньшим калильным числом (рис. 52, кривая 1).



1 – «горячая»; 2 – «холодная»; 3 – «нормальная»; 4 – типа «термопластик»

Рисунок 52 – Зависимость температуры теплового конуса изолятора свечи от нагрузки двигателя для свечей

Однако при этом существует опасность перегрева изолятора и центрального электрода и даже возникновения калильного зажигания при работе двигателя с полной нагрузкой. Применением свечи типа "термопластик" (рис. 52, кривая 4) обеспечивается нормальная её работа в более широком диапазоне нагрузок двигателя.

8.5. МАРКИРОВКА СВЕЧЕЙ ЗАЖИГАНИЯ

В соответствии с требованиями ОСТ 37.003.081 – 98 искровая свеча зажигания имеет следующие условные обозначения (рис. 53).

Для свечей с коническим посадочным местом

1. Резьба на корпусе:
   А – М14х1,25;
   М – М18х1,5
2. Размер шестигранника под ключ:
   У – 16,0 мм;
   М – 19,0 мм
3. Коническая опорная поверхность: К
4. Длина резьбовой части корпуса:
   М – 7,8 мм;
   Д – 17,5 мм;
   С – 25,0 мм;
   Без буквы – 11,2 мм
5. Калильное число:
   8;11;14;17;20;23;26
6. Выступание теплового конуса за торец корпуса: В
7. Наличие встроенного резистора: Р
8. Биметаллический центральный электрод: М (с медным сердечником)
9. Порядковый номер разработки или модернизации (кроме базовых конструкций): одна или две цифры в конце маркировки

Для свечей с плоской опорной поверхностью

1. Резьба на корпусе:
   А – М14х1,25;
   М – М18х1,5
2. Размер шестигранника под ключ:
   У – 16,0 мм;
   М – 19,0 мм
3. --------
4. Длина резьбовой части корпуса:
   Д – 19,0 мм;
   Без буквы – 12,7 мм
5. Калильное число:
   8;11;14;17;20;23;26
6. Выступание теплового конуса за торец корпуса: В
7. Наличие встроенного резистора: Р
8. Биметаллический центральный электрод: М (с медным сердечником)
9. Порядковый номер разработки или модернизации (кроме базовых конструкций): одна или две цифры в конце маркировки

Пример условного обозначения свечи с резьбой на корпусе М14х1,25, калильным числом 17, длиной резьбовой части корпуса 19,0 мм, имеющей выступание теплового конуса изолятора за торец корпуса, со встроенными помехоподавительным резистором, с биметаллическим (центральным электродом): А17ДВРМ.

Кроме условного обозначения типа, на каждой свече должны быть указаны:

- дата изготовления (месяц или квартал, или две последние цифры года изготовления);
- наименование или товарный знак изготовителя;
- страна изготовления.

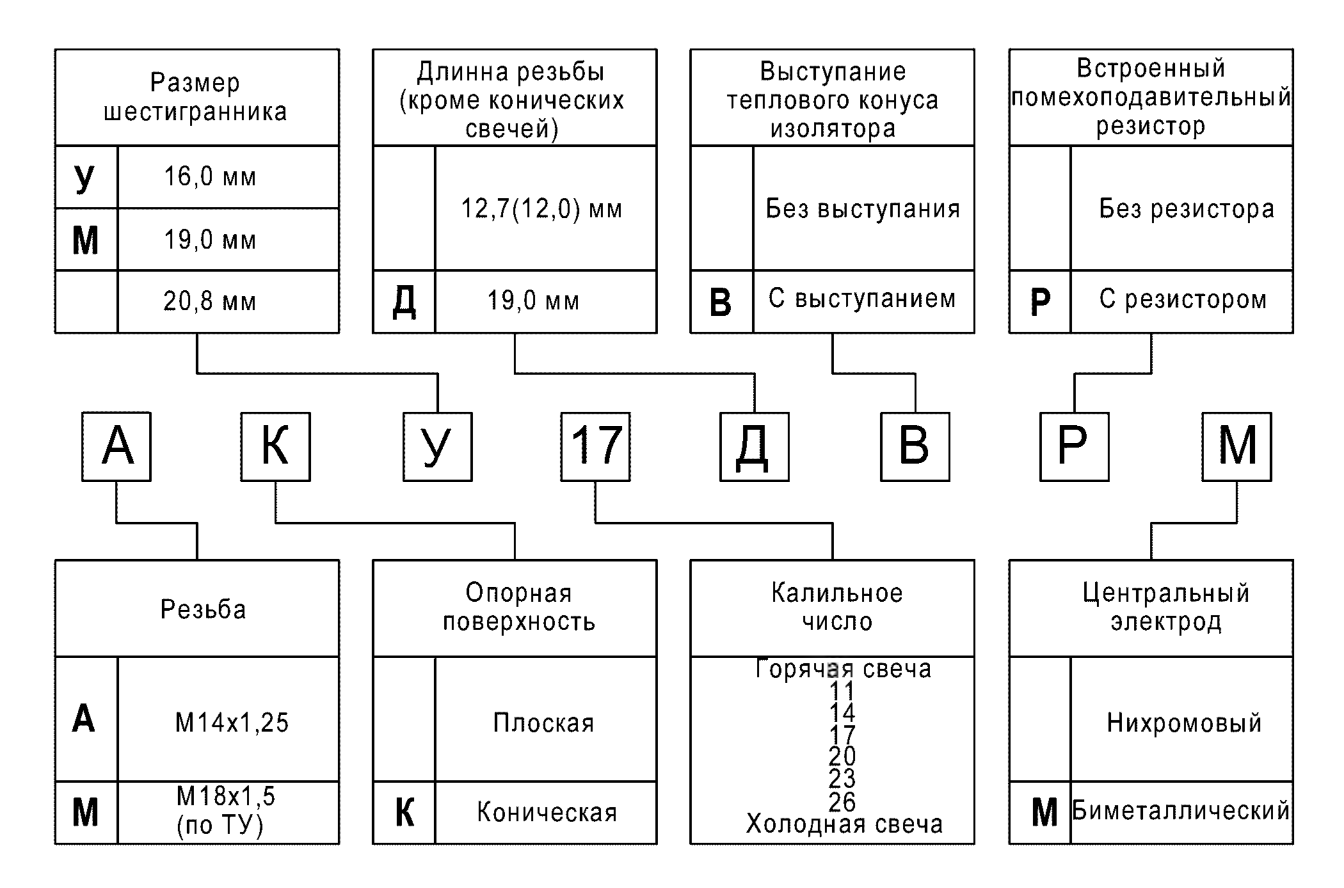


Рисунок 53 – Вариант условного обозначения свечей отечественного производства

Аналогичное обозначение имеют свечи зажигания фирмы Bosch. Первая буква в их обозначении W соответствует отечественной А, D соответствует М, далее может идти буква обозначающая исполнение свечи (R – со встроенным резистором), затем цифра, характеризующая её тепловые характеристики (чем меньше, тем свеча «холоднее»), затем идёт буквенное обозначение длины резьбы (D соответствует 19 мм), наконец буквенное обозначение числа боковых электродов, если их больше одного (D – два, T – три, Q – четыре), и исполнение центрального электрода: C – медь, P – платина, S – серебро.

8.6. ПОДБОР СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ К ДВИГАТЕЛЮ

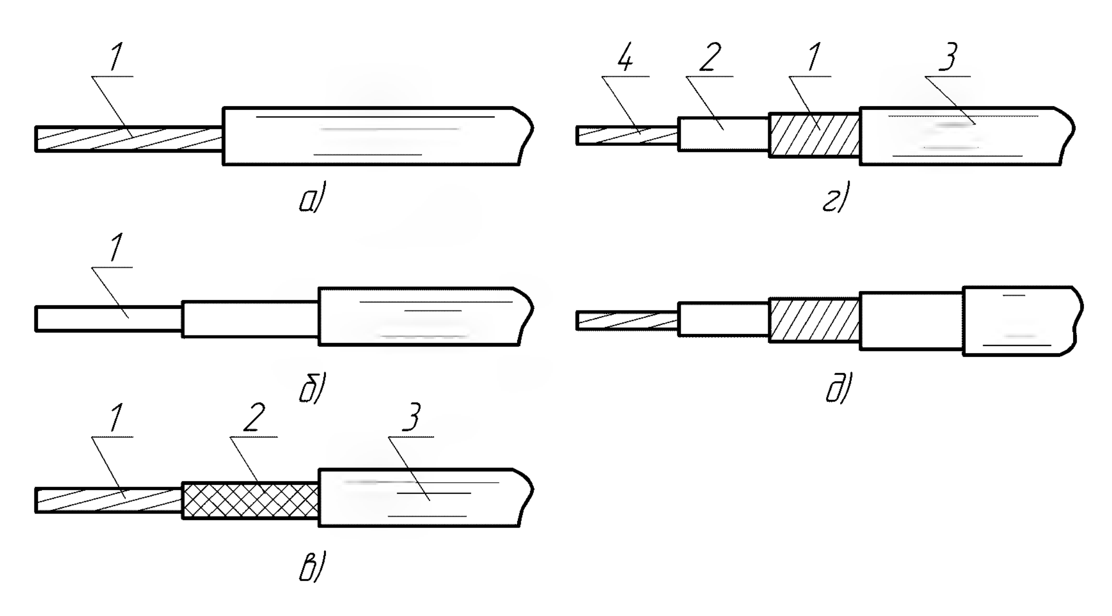
Свечи к двигателю должны подбираться с учётом реальных условий эксплуатации. Повышение степени сжатия, литровой мощности, частоты вращения коленчатого вала, наличие наддува требуют применения свечей с большим калильным числом, т.е.

«холодных» свечей. С другой стороны, повышение требований к таким показателям двигателя, как топливная экономичность, малая токсичность, улучшение пусковых свойств при низких температурах, повышение стабильности работы в режимах холостого хода и малых нагрузок обуславливают применение «горячих» свечей с малыми калильными числами. В результате большое значение придается созданию конструкций свечей с расширенным диапазоном безотказной работы по нагрузке.

Если свеча по калильному числу выбрана правильно, то тепловой конус изолятора имеет цвет от светло-коричневого до светло-серого. Белый цвет изолятора свидетельствует о том, что свеча перегревается, т.е. имеет слишком малое калильное число. Если калильное число свечи выше необходимого, тепловой конус изолятора покрывается бархатистым матово-черным нагаром.

8.7. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРОВОДА. СВЕЧНОЙ НАКОНЕЧНИК

На автомобилях применяются провода высокого напряжения обычные с металлическим проводником **1** (рис. 54*а* и 54б) и специальные с распределенными параметрами для подавления радиопомех (рис. 54*в – д*).



а – ПВВ; *б* – ПВРВ; *в* – ПВВО; *г* – ПВВП; *д* – ПВВП-40.
Рисунок 54 – Высоковольтные провода марок

Высоковольтные провода марок ПВВ, ПВРВ, ППОВ и ПВЗС имеют медную токопроводящую жилу, изолированную поливинилхлоридным пластикатом, резиной или полиэтиленом. Поверх изоляции токопроводящей жилы провода марок ПВРВ, ППОВ и ПВЗС еще имеют оболочку из поливинилхлоридного пластиката и резины повышенной маслобензостойкости.

Системы зажигания автомобильных бензиновых двигателей являются источником радиопомех. Высоковольтные провода таких систем выполняют функцию антенн, излучающих энергию в виде радиопомех. Для того чтобы уровень радиопомех не превышал нормированных значений, провода марок ППВ, ПВРВ, ППОВ и ПВЗС на двигателе устанавливаются с помехоподавительными резисторами, которые могут находиться на свечах или в распределителе зажигания. В настоящее время широко применяются провода с распределенным активным сопротивлением (резистивный провод), которые позволяют отказаться от помехоподавительных резисторов.

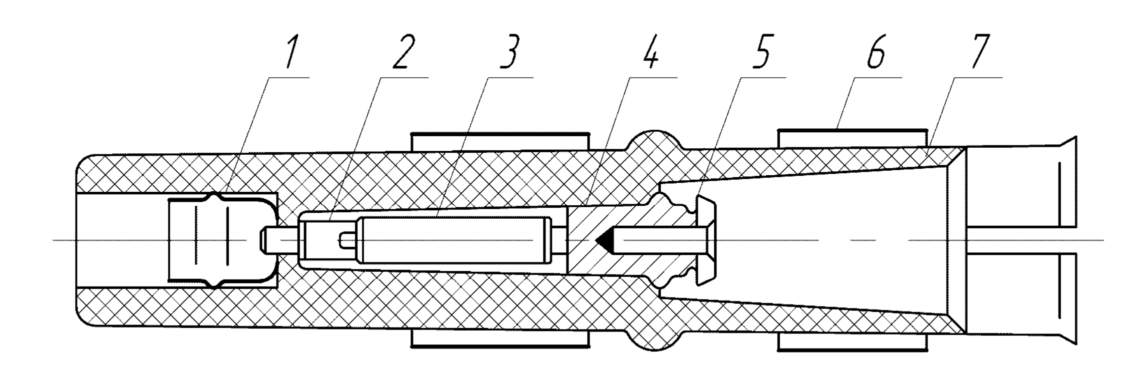
Токопроводящая жила резистивного провода выполняется из неметаллического материала с высоким электрическим сопротивлением. Для сердечника жилы используется хлопчатобумажная пряжа (рис. 54*в*), пропитанная сажевым раствором. Сердечник жилы находится в хлопчатобумажной или капроновой оплетке **2**. Для изоляции **3** резистивных проводов используют поливинилхлоридный пластикат, одно- или двухслойную резину.

Недостатком резистивного провода является то, что при его использовании трудно обеспечить надежный контакт сердечника из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной сажевым раствором, в хлопчатобумажной или капроновой оплетке с наконечниками. Поэтому на автомобилях нашли применение реактивные провода с активным, индуктивным и емкостным распределенным сопротивлением переменному току. Благодаря наличию в них металлической токопроводящей жилы легко обеспечивается надежный контакт с наконечниками. На льняную нить **4** (рис. 54*г*) реактивного провода нанесен слой ферропласта, состоящий (по массе) из 80 % ферритового порошка и 20 % поливинилхлоридного.

Резистивный провод ПВВО обладает сопротивлением 15-40 кОм/м и рассчитан на максимальное рабочее напряжение 15 кВ.

Реактивные провода применяются, в частности, на автомобилях ВАЗ. Поглощение радиопомех в проводе марки ПВВП обеспечивается проводником и диэлектриком ферропластового сердечника. Провод ПВВП выпускается диаметром 7,2 мм на напряжение 25 кВ и диаметром 8,0 мм на напряжение 40 кВ и имеет сопротивление 2 кОм/м. Для бесконтактных систем зажигания автомобилей ВАЗ применяется провод ПВВП-40 с силиконовой изоляцией, рассчитанный на напряжение до 40 кВ, сопротивлением 2,55 кОм/м.

Помехоподавительный резистор **3** (рис. 55) может встраиваться в свечной экранированный наконечник.



1 – вывод; 2 – пружина; 3 – резистор; 4 – наконечник; 5 – скоба; 6 – экран; 7 – корпус.

Рисунок 55 – Экранированный наконечник свечи

Контрольные вопросы

1. Какие факторы влияют на работу свечи зажигания?
2. Из каких основных элементов состоит искровая свеча зажигания?
3. Какие преимущества и недостатки имеют форкамерные свечи зажигания?
4. Что такой тепловой баланс свечи зажигания?
5. Как осуществляется маркировка свечей зажигания?
6. По каким параметрам подбираются свечи зажигания для конкретного двигателя?
7. Какими параметрами характеризуются высоковольтные провода?

9. СИСТЕМЫ ЗВУКОВОЙ И СВЕТОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

9.1. ЗВУКОВЫЕ СИГНАЛЫ

Звуковые сигналы предназначены для обеспечения безопасности движения автомобилей. Их используют для оповещения пешеходов и водителей о приближении автомобиля или о состоянии его рабочих агрегатов. Звуковые сигналы включаются также в противоугонные системы.

Звуковые сигналы классифицируются по следующим признакам.

По характеру звучания подразделяются:

- шумовые;
- тональные.

По устройству делятся:

- рупорные;
- безрупорные.

По роду тока:

- сигналы постоянного тока;
- сигналы переменного тока.

По принципу действия:

- электрические вибрационные;
- электропневматические.

Основными характеристиками звуковых сигналов являются уровень звукового давления (в децибелах) и спектральный состав звука. Звуковое давление должно быть в пределах 85-125 дБ. Основная частота звука составляет 200-400 Гц. Обычно на автомобилях используется одновременное включение сигналов низкого и высокого тонов. Основные частоты звука этих сигналов гармонично сочетаются. Разница основных частот звука сигналов высокого и низкого тонов составляет 65-100 Гц. Наибольшее воздействие оказывают на слуховые органы человека и хорошо слышны в кабине обгоняемого автомобиля при высоком уровне посторонних шумов звуковые сигналы, частотный спектр которых находится в пределах 1800-3550 Гц. Поэтому размеры, материалы и конфигурацию мембран, резонаторов и других звукоиз-

лучающих деталей подбирают таким образом, чтобы вся звуковая энергия сигнала была сконцентрирована в этом диапазоне.

9.2. БЕЗРУПОРНЫЙ ШУМОВОЙ СИГНАЛ

По устройству и принципу действия шумовые и тональные сигналы незначительно отличаются друг от друга. Шумовые безрупорные звуковые сигналы имеют упрощенную конструкцию и настроены на один музыкальный тон. Наиболее широко распространены электрические вибрационные звуковые сигналы сравнительно малой мощности (40–60 Вт), обладающие хорошим звучанием.

Безрупорный шумовой сигнал имеет резонатор в виде чашеобразного диска, который колеблется вместе с мембраной. Один вывод безрупорного шумового сигнала постоянного тока соединён с аккумуляторной батарей, а второй – с выключателем, замыкающим цепь электроснабжения обмотки электромагнита на массу. При включении сигнала электромагнит притягивает якорь, вместе с которым перемещается мембрана с резонатором. В конце хода якорь нажимает на пружинную пластину, размыкая контакты прерывателя. Цепь электроснабжения магнита размыкается, и под действием упругой силы мембрана движется в обратном направлении, вновь замыкая контакты прерывателя. Далее цикл движения якоря с мембраной периодически повторяется.

Вибрация мембраны передается резонатору. От частоты колебаний мембраны и резонатора зависит высота тона звучания сигнала и нужный частотный диапазон звукоизлучения. Качество звучания сигнала изменяется регулировочным винтом, головка которого расположена с внешней стороны корпуса. Регулировочный винт изменяет положение контактов прерывателя относительно якоря.

Мембрана по периферии зажимается между корпусом и крышкой. Центральная часть мембраны жестко связана с якорем. Подбором прокладок между корпусом и мембраной регулируется зазор между якорем и сердечником электромагнита. Зазор также регулируется поворотом стержня, положение которого фиксируется гайкой. После окончания регулирования гайку следует тщательно затянуть. От зазора между якорем и сердечником зависят

громкость, тон звукоизлучения и сила тока, потребляемого звуковым сигналом.

9.3. РУПОРНЫЙ ТОНАЛЬНЫЙ СИГНАЛ

Необходимые характеристики звукоизлучения рупорного тонального сигнала обеспечиваются совместной работой электромагнитной системы, которая вызывает колебание мембраны и рупора, выполняющего роль резонатора.

Рупорный тональный сигнал имеет корпус, электромагнит с обмоткой сердечником и якорем, прерыватель с контактами и мембрану. Резонатором в тональном сигнале является столб воздуха, заключенный в рупоре. Конфигурация рупора обеспечивает взаимную настройку частот колебаний мембраны и воздушного столба, чем достигается получение громкого звука определенного тона. Конец рупора расширяется для эффективного излучения звука.

Мембрана установлена между корпусом и рупором. На мембране жёстко закреплён якорь с упорным штифтом. Один конец обмотки электромагнита соединён с выводом, другой с пружиной подвижного контакта. В исходном положении контакты замкнуты и соединяют цепь электроснабжения обмотки электромагнита через пластину неподвижного контакта, корпус сигнала, подвеску и корпус автомобиля с отрицательным выводом аккумуляторной батареи.

При подсоединении вывода выключателя сигнала с положительным выводом аккумуляторной батареи на обмотку электромагнита подаётся напряжение бортовой сети электрооборудования автомобиля. Якорь, преодолевая упругую силу мембраны, притягивается к сердечнику электромагнита. При этом штифт нажимает на пружину и размыкает контакты прерывателя в цепи электроснабжения обмотки электромагнита.

При размыкании электрической цепи обмотки сердечник электромагнита перестаёт притягивать якорь, а мембрана под действием упругих сил возвращается вместе с якорем в исходное положение. Контакты вновь замыкаются. Далее процесс повторяется. В результате якорь колеблется с частотой 200-400 Гц. Колебательный процесс мембраны сложнее, поэтому в спектре звука,

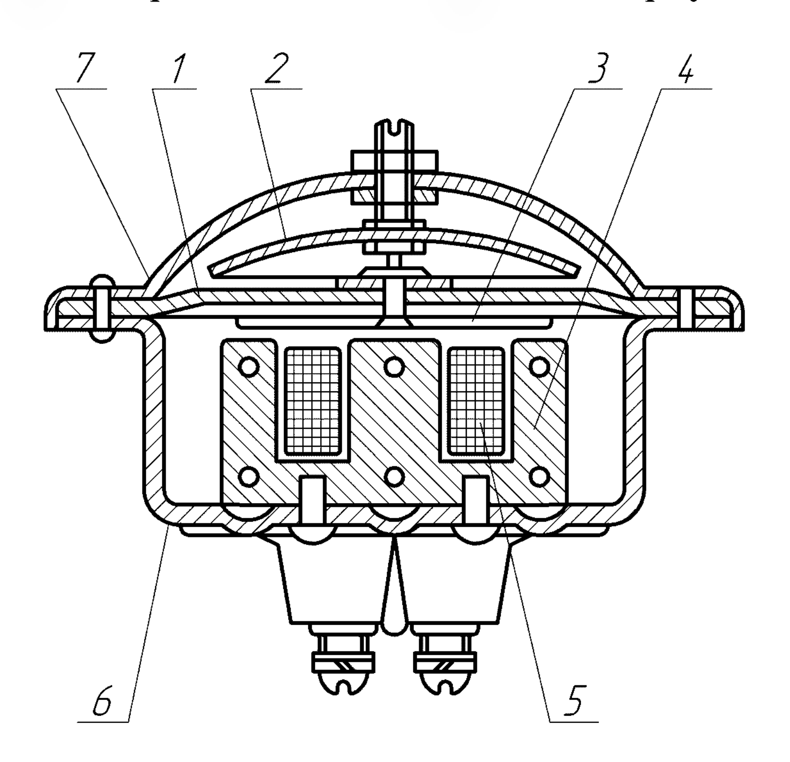
создаваемом воздушным столбом в рупоре при колебаниях мембраны, присутствуют составляющие с частотой 2000-3500 Гц.

Определенный тон сигнала обеспечивают подбором толщины мембраны и конфигурацией рупора. Регулирование высоты тона и громкости звука осуществляется перемещением пластины неподвижного контакта с помощью гаек.

Для уменьшения искрения контактов прерывателей в тональных звуковых сигналах так же, как и в шумовых параллельно контактам включают резисторы или конденсаторы. В малогабаритных сигналах элементы, уменьшающие искрение контактов, не устанавливаются.

9.4. ЗВУКОВОЙ СИГНАЛ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Безрупорный звуковой сигнал переменного тока (рис. 56) получает питание от генератора переменного тока. Катушка **5** электромагнита закреплена в алюминиевом корпусе **6**.



1 – мембрана; 2 – резонатор; 3 – якорь; 4 – сердечник электромагнита; 5 – катушка электромагнита; 6 – корпус; 7 – крышка.

Рисунок 56 – Звуковой сигнал переменного тока

Частота переменного тока зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. С такой же частотой колеблется мембрана **1**, штифт колеблющейся мембраны периодически ударяется о штифт резонатора **2**, жестко соединенного с крышкой **7**, после каждого удара резонатор колеблется с постоянной частотой, которая должна обеспечивать необходимый тембр звука.

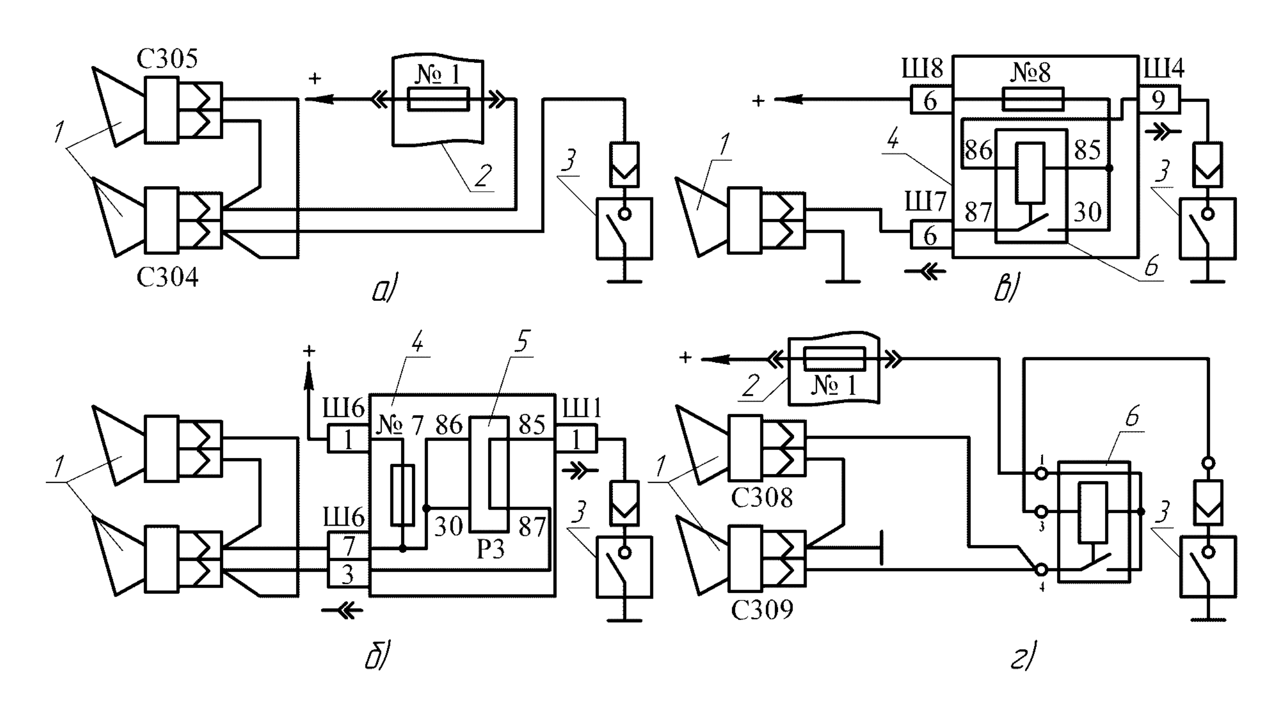
9.5. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

На автомобили устанавливают комплект звуковых сигналов: один низкого тона, один или два высокого тона. В зависимости от силы потребляемого тока звуковые сигналы в комплекте включают параллельно или последовательно. Безрупорные сигналы, которые потребляют токи меньшей силы, чем рупорные, включаются непосредственно механической кнопкой или электромеханическими выключателями иной конструкции. Сила тока, потребляемая рупорными сигналами, превышает допустимые значения для электромеханических выключателей звуковых сигналов. Для включения сигналов в этом случае применяют промежуточные реле (реле сигналов). При такой схеме через электромеханический выключатель протекает небольшой силы ток, потребляемый обмоткой промежуточного реле. Цепь электроснабжения звуковых сигналов защищается предохранителями.

На ряде моделей легковых автомобилей ВАЗ применяются звуковые сигналы типа **С309**, **С308**, которые относятся к электромагнитным сигналам тонального типа, настроенным на определенный тон звучания. Основная частота звучания у сигнала **С308** составляет 410-430 Гц, а у сигнала **С309** – 503-523 Гц. Сигналы **С309** и **С308** взаимозаменяемы по установочным размерам и отличаются только длиной канала рупора и массой грузиков, закрепленных на якоре электромагнита. От массы этих грузиков зависит частота колебаний мембраны и, следовательно, тон звука.

Обычно звуковые сигналы **С309** и **С308** устанавливают в моторном отсеке и крепят на кронштейне, приваренном к панели рамки радиатора.

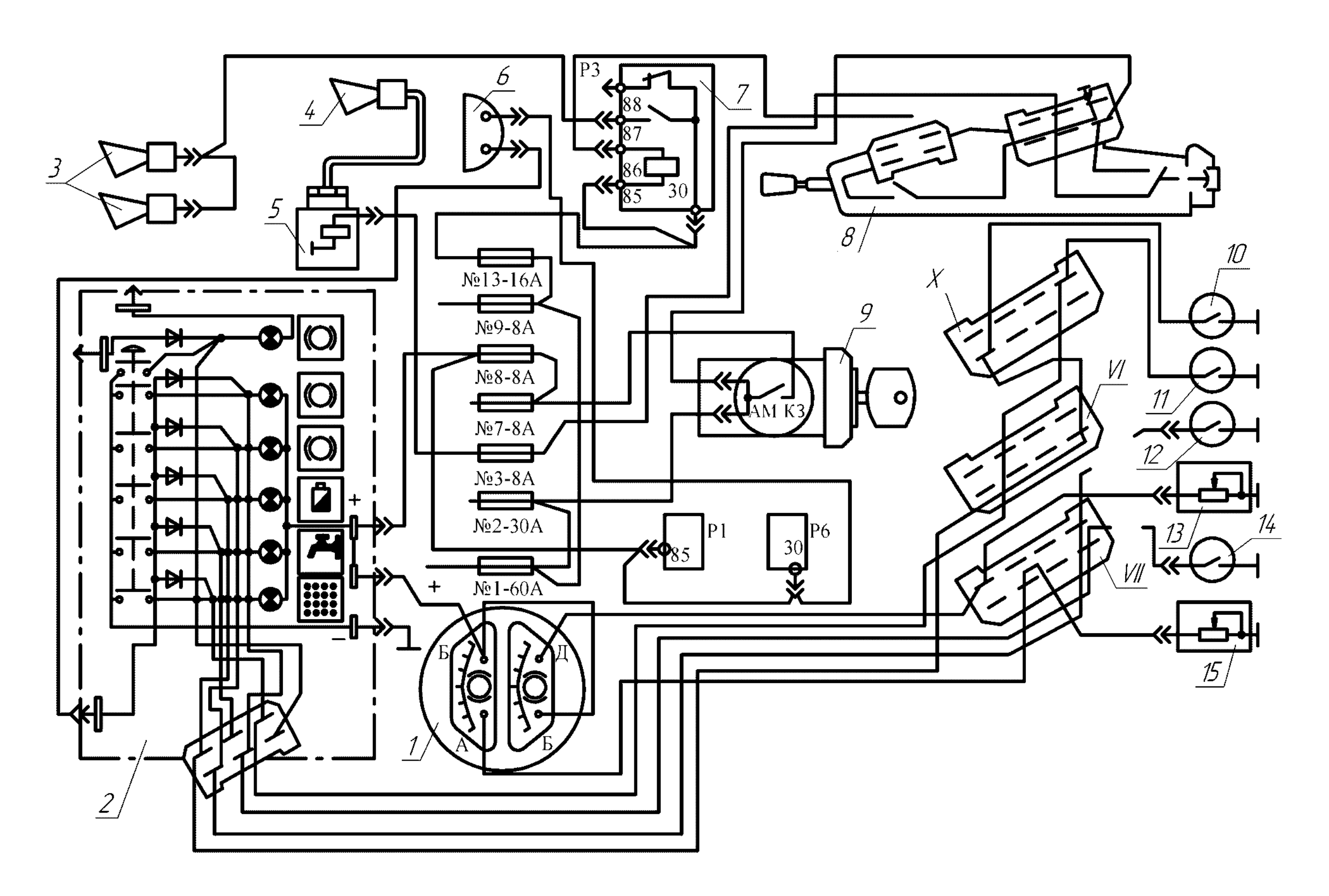
Схемы управления двумя звуковыми сигналами на автомобилях ВАЗ приведены на рисунке 57. Комплект сигналов, как правило, включает два безрупорных или два рупорных (низкого и высокого тонов), настроенных на совместную работу.



1 – звуковой сигнал; 2 – блок предохранителей; 3 – выключатель сигнала; 4 – блок реле и предохранителей (монтажный блок); 5 – контактная перемычка (в автомобилях ВАЗ-2107 вместо перемычки устанавливается реле); 6 – реле включения сигналов.
Рисунок 57 – Схемы управления звуковыми сигналами автомобилей ВАЗ моделей: *а* – 21011, 21013; *б* – 2106; *в* – 2104, 2105, 2107; *г* – 2108, 2109

Автомобили МАЗ-64227 и МАЗ-54322 имеют два звуковых сигнала: пневматический с электроклапаном и электрический. Пневматический сигнал устанавливается на крыше кабины. Комплект электрических сигналов состоит из двух сигналов низкого и высокого тона. Для установки в кабине предусмотрено также шумовое реле-зуммер, сигнализирующее о снижении давления воздуха в контурах тормозной системы и засоренности воздушного и масляного фильтров.

Схемы включения звуковых приборов автомобилей МАЗ изображены на рисунке 58.



1 – указатель давления; 2 – блок контрольных ламп; 3 – электрические сигналы; 4 – пневматический сигнал; 5 – электропневмоклапан; 6 – зуммер; 7 – реле включения сигналов; 8 – подрулевой переключатель; 9 – выключатель приборов и стартера;
10 – датчик контрольной лампы засорённости масляного фильтра; 11 – датчик контрольной лампы засорённости воздушного фильтра; 12 – датчик аварийного давления в переднем контуре тормозной системы; 13 – датчик указателя давления в заднем контуре тормозной системы; 14 – датчик аварийного давления в заднем контуре тормозной системы; 15 – датчик указателя давления в переднем контуре тормозной системы; VI, VII, X – штекерные соединители.

Рисунок 58 – Схема звуковых приборов грузового автомобиля

Пневматические звуковые сигналы с электропневмоклапаном наряду с электрическими сигналами устанавливают на автомобилях КамАЗ. Двухтональный двухрупорный пневматический звуковой сигнал работает при включении электропневмоклапана с помощью кнопки, расположенной на комбинированном

переключателе света. Звук пневмосигнала должен быть чистым при подаче в него сжатого воздуха из пневмосистемы автомобиля под давлением 390…680 кПа.

Зуммер тормозной системы типа PC531, предназначенный для внутренней сигнализации в кабине, включен в цепь сигнализации о падении давления в контурах пневматического тормозного привода. Зуммер звучит одновременно с включением любой из четырех контрольных ламп, информирующих водителя о снижении давления воздуха в одном из контуров, устанавливается зуммер под панелью приборов.

9.6. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И СВЕТОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Безопасность автомобилей при движении по дорогам и тракторов при выполнении технологических операций, особенно в темное время суток, во многом зависит от состояния систем освещения и световой сигнализации. Световые приборы предназначены для обеспечения качественной работы в различных условиях эксплуатации, для освещения дороги, передачи информации о габаритных размерах автомобиля и трактора и техническом состоянии их отдельных систем, предполагаемом и совершаемом маневрах, для освещения номерного знака, кабины, контрольно-измерительных приборов, подкапотного пространства, багажника и т.д.

Большую часть информации о дорожной обстановке и состоянии автомобиля водитель получает через органы зрения. Безопасность движения зависит от видимости объектов на дороге, которая, в свою очередь, определяется интенсивностью освещения, типом и состоянием дорожного покрытия, характеристиками органов зрения водителя и объектов на дороге. Автотракторные световые приборы должны обеспечивать хорошую видимость и необходимую информативность в широком диапазоне расстояний и в различных погодных условиях, не вы-

зывая ослепления водителей встречного транспорта в темное время суток.

С наступлением темноты видимость на дороге ухудшается вследствие недостаточной или неравномерной освещенности. Она ухудшается также во время дождя, снегопада, или пылевой бури, при уменьшении прозрачности лобового стекла и при большом расстоянии до объекта различения. При движении в условиях ограниченной видимости увеличивается вероятность дорожно-транспортного происшествия. От дальней видимости зависит допустимая скорость автомобиля. Безопасность движения обеспечивается в том случае, если дальность видимости дороги превышает путь автомобиля при торможении.

Зрительная работа водителя сложнее ночью при освещении дороги фарами. В темное время суток ограничено время обнаружения объектов на дороге, так как в поле зрения водителя они появляются на расстояниях, определяемых дальностью освещения дороги фарами. Поле зрения водителя ограничено углом рассеяния света фар. При попадании в глаза водителя света фар встречного автомобиля или фонарей впереди идущего транспортного средства возможно как ослепление, так и ощущение дискомфорта. Дискомфорт становится ощутимее при увеличении яркости световых отверстий фар, фонарей и их угловых размеров. Особенно тяжелые условия работы глаз водителя возникают при переключении света фар и колебаниях светового пучка фар автомобиля, движущегося по неровной дороге.

9.7. КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ И УСТРОЙСТВ

На автомобилях устанавливают различные по назначению, конструкции, электрическим и светотехническим характеристикам световые приборы.

В обязательный комплект световых приборов для АТС входят фары дальнего света; фары ближнего света; передние и задние габаритные огни; фонари заднего хода; указатели поворота; аварийный сигнал; сигнал торможения; фонарь освещения заднего номерного знака; задний противотуманный огонь;

контурный огонь; задние светоотражающие устройства нетреугольной формы; передние светоотражающие устройства нетреугольной формы; боковое светоотражающее устройство на автомобилях (длиной более шести метров); боковые габаритные огни на транспортных средствах (длиной более шести метров за исключением грузовых автомобилей без кузова).

На прицепах запрещена установка фар дальнего и ближнего света, передней противотуманной фары, дневного ходового огня.

Обязательна установка на прицепах переднего габаритного огня при ширине прицепа более 1600 мм; заднего светоотражающего устройства треугольной формы; бокового светоотражающего устройства нетреугольной формы.

На прицепах обязательны установки фонаря заднего хода, сигнала торможения, переднего габаритного огня при ширине прицепа не более 1600 мм, заднего светоотражающего устройства нетреугольной формы при условии, что эти светоотражающие устройства сгруппированы с другими устройствами световой сигнализации.

Укрываемый огонь – огонь, который в нерабочем положении может быть частично или полностью укрыт, запрещается, за исключением фар дальнего и ближнего света, а также передних противотуманных фар, которые могут быть укрыты в случае, когда их не используют.

К необязательным (факультативным) световым приборам относятся передняя противотуманная фара (две); дневной ходовой огонь (два); огонь подсветки поворота; контурный огонь (на грузовых автомобилях без кузова); фары-прожекторы, прожекторы-искатели.

При эксплуатации АТС допускается установка фары-прожектора или прожектора-искателя, если она предусмотрена изготовителем АТС, одного дополнительного сигнала торможения над основными, двух противотуманных фар и не более двух противотуманных фонарей. Установка других фар, сигнальных фонарей и световозвращателей, не предусмотренных изготовителем в эксплуатационной документации АТС, не допускается.

Изменение мест расположения и демонтаж предусмотренных эксплуатационной документацией АТС фар, сигнальных фонарей, световозвращателей и контурной маркировки не допускается.

Транспортные тракторы и тягачи имеют оборудование, подобное автомобильному. Световые приборы сельскохозяйственных тракторов и прицепных орудий при ночных полевых работах должны равномерно освещать большую площадь и отдельные рабочие механизмы широким световым пучком, что достигается применением фар рабочего освещения со специально рассчитанным рассеивателем. Для облегчения управления сельскохозяйственными и другими навесными орудиями ночью на тракторах могут быть применены фары рабочего освещения.

Светотехнические приборы подразделяют также на **внешние** (фары головного и рабочего освещения, фонари различного назначения) и **внутренние** (плафоны, лампы освещения щитка приборов, контрольные лампы).

Большое число световых приборов на автомобиле и тракторе не должно вызывать трудностей при их различении участниками дорожного движения.

Для этого используется система кодирования информации, поступающей от световых приборов. К кодирующим элементам относят количество одновременно работающих световых приборов, их расположение на транспортном средстве, режимы работы, расстояние между одновременно работающими световыми приборами, форму светоизлучающей поверхности, цвет излучаемого света и интенсивность излучения в пределах одного цвета.

Автомобильные световые приборы делят на **осветительные** и **светосигнальные**. Световой пучок осветительного прибора воспринимается после отражения от дороги или от объекта на дороге, а световой поток светосигнального прибора наблюдатель воспринимает непосредственно. Фары и фонари заднего хода можно считать и осветительными, и светосигнальными приборами. Водитель автомобиля, на котором они установлены, воспринимает их световой поток после отражения от дороги и наблюдаемых объектов, а другие участники дорожной обстановки непосредственно.

9.8. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

Работа системы освещения основана на принципах генерирования, распределения и перераспределения в пространстве электромагнитного излучения оптической области спектра. Органами зрения воспринимаются видимые излучения с длиной волны λ в диапазоне 380-760 нм. При совокупном воздействии излучения данного диапазона воспринимаются органом зрения как белый свет, который, в свою очередь, состоит из однородных излучений (табл.8).

Таблица 8 – Цветовой спектр и длина волны

Цветовой спектр	**Длина волны, нм**
Красный	760-620
Оранжевый	620-590
Желтый	590-560
Зеленый	560-500
Голубой	500-480
Синий	480-450
Фиолетовый	450-430

Органы зрения обладают избирательной способностью к отдельным диапазонам видимого спектра. Наибольшую спектральную чувствительность глаз человек проявляет к излучению с длиной волны 555 нм (желто-зеленый цвет).

Световые приборы преобразуют электрическую энергию в световой пучок определенной структуры – соответствующим образом организованную совокупность направлений излучения света и цветности (спектра излучения). **Оптическая система** светового прибора, обеспечивающая необходимые структуру и спектр светового пучка, включает **лампу**, **отражатель** и **рассеиватель**. Лампа является источником света. Отражатель обычно в виде параболоида вращения концентрирует световой поток, испускаемый лампой, в требуемом телесном угле. Рассеиватель, выполненный из прозрачного материала, перераспределяет световой поток в вертикаль-

ной и горизонтальной плоскостях с помощью линз и призм на его внутренней поверхности и при необходимости меняет цвет излучаемого света.

Основными светотехническими параметрами световых приборов являются активная поверхность оптической системы, световое отверстие, телесный и плоский углы охвата, углы излучения и рассеивания, фокус и фокусное расстояние оптической системы, коэффициент отражения для отражателей и коэффициент пропускания и поглощения для рассеивателей.

Активной поверхностью оптической системы является зеркальная поверхность отражателя. Ее проекция на плоскость, перпендикулярную оптической оси, называется **световым отверстием**. Оптическая ось светового прибора – это ось его симметрии. Лучи, падающие на активную поверхность отражателя параллельно оптической оси, собираются в **фокусе**. В реальных оптических системах с фокусом совмещают центр тела накала источника света. Отрезок оптической оси от фокуса до вершины отражателя называется **фокусным расстоянием**.

Телесным углом охвата активной поверхности является угол, в пределах которого поверхность оптической системы видна из фокуса. Сечение телесного угла охвата ω меридиональной плоскостью, проходящей через ось вращения параболоида, образует **плоский угол охвата** φ. Телесный угол, в котором сконцентрирован отраженный активной поверхностью и вышедший из системы световой поток, называют **углом излучения оптической системы**.

Коэффициент отражения оптической системы – это отношение отраженного светового потока к световому потоку, падающему на отражающую поверхность.

Коэффициент пропускания – отношение светового потока, прошедшего через поверхность, к световому потоку, падающему на нее.

Под **коэффициентом поглощения** понимается отношение светового потока, поглощаемого световой системой, к световому потоку, ею создаваемому.

9.9. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УСТАНОВКЕ УСТРОЙСТВ ОСВЕЩЕНИЯ И СВЕТОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Устройства освещения и световой сигнализации должны быть установлены так, чтобы в нормальном рабочем состоянии, несмотря на вибрацию, которой они могут подвергаться, они сохраняли требуемые характеристики, а транспортное средство продолжало соответствовать требованиям стандарта.

Огни фар ближнего и дальнего света и противотуманной фары должны быть установлены таким образом, чтобы можно было легко регулировать направления световых лучей.

Исходные оси всех установленных на транспортном средстве устройств световой сигнализации, в том числе установленных на боковых панелях, должны быть параллельны опорной плоскости транспортного средства на дороге. Кроме того, для боковых светоотражающих устройств и габаритных огней эти оси должны быть перпендикулярны средней продольной плоскости транспортного средства, а также других устройств сигнализации – параллельны этой плоскости. В каждом направлении допускаются $\pm 3°$.

При отсутствии особых требований высоту и ориентировку огней проверяют на транспортном средстве в снаряженном состоянии, расположенном на плоской и горизонтальной поверхностях, в условиях, определенных ГОСТом.

При отсутствии особых указаний огни одной и той же пары должны:

- быть установлены на транспортном средстве симметрично средней продольной плоскости с учетом внешней геометрической формы огня, а не края его освещающей поверхности;
- быть симметричными относительно друг друга по отношению к средней продольной плоскости. Это требование не распространяется на внутреннюю конструкцию огня;
- удовлетворять одним и тем же колориметрическим требованиям;

- иметь практически одинаковые фотометрические характеристики.

На транспортных средствах с асимметричной внешней формой описанные выше условия должны соблюдаться по мере возможности.

Огни могут быть сгруппированными, комбинированными или совмещенными при условии, что выполняются все требования, которые установлены для каждого огня в отношении цвета, размещения, направления, геометрической видимости и электрической схемы.

Максимальную высоту над уровнем грунта измеряют от самой высокой точки, а минимальную – от самой низкой точки видимой поверхности в направлении исходной оси.

В случае фары ближнего света минимальную высоту над уровнем грунта измеряют от нижней точки эффективной выходной поверхности оптической системы (например, отражателя, рассеивателя, проекционного рассеивателя) независимо от ее использования.

Расположение огня по ширине определяют по тому краю поверхности, видимой в направлении исходной оси, который наиболее удалён от средней поперечной плоскости транспортного средства, если речь идет об общей габаритной ширине, и по внутренним краям видимой поверхности в направлении исходной оси, если речь идет о состоянии между огнями.

При отсутствии особых указаний никакой огонь не должен быть мигающим, за исключением огней указателей поворотов, аварийного сигнала и боковых габаритных огней желтого цвета.

Никакой свет красного цвета, который может ввести в заблуждение других участников дорожного движения, не должен излучаться в направлении вперед огнем, и никакой свет белого цвета, который может ввести в заблуждение других участников дорожного движения, за исключением света от огня заднего хода, не должен излучаться в направлении назад огнем.

Функциональная электрическая схема должна быть такой, чтобы передние и задние габаритные огни, контурные огни (если имеются), боковые габаритные огни (если имеются) и фо-

нарь заднего номерного знака могли включаться и выключаться только одновременно. Это условие не применяется при использовании передних и задних габаритных огней, а также боковых габаритных огней, когда они комбинируются или совмещаются с указанными выше огнями, в качестве стояночных огней, и когда разрешается использовать боковые габаритные огни в мигающем режиме.

9.10. ИСТОЧНИКИ СВЕТА АТОМОБИЛЬНЫХ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

Лампы накаливания. В качестве источников света в традиционных автомобильных и тракторных световых приборах используют электрические лампы накаливания. Требования к их параметрам и применяемости нормируются Правилом 37 ЕЭК ООН, ГОСТ 2023-90.

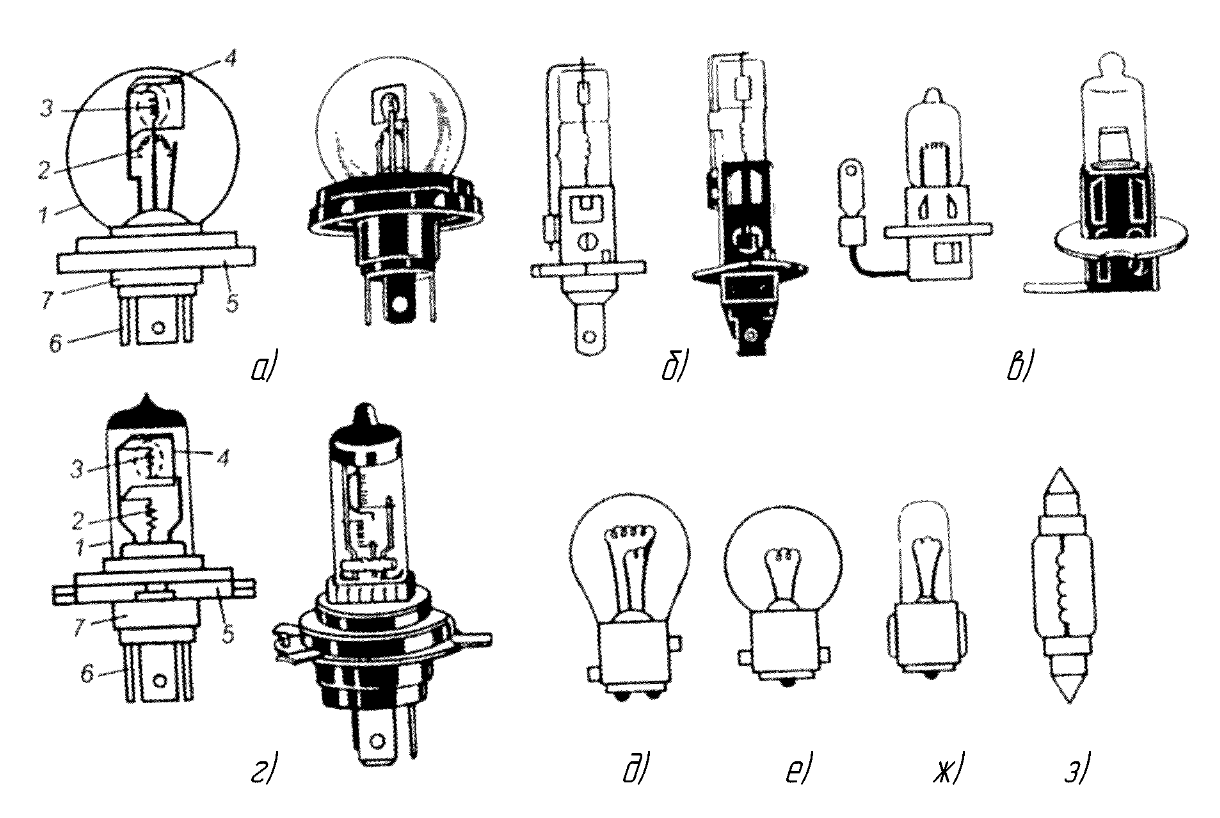
Конструкцию, применяемость и способы контроля лампы оценивают по следующим характеристикам: категория, тип лампы, номинальное и расчётное напряжения, номинальное и предельное значения мощности и светового потока, средняя продолжительность горения, световая отдача, тип цоколя, масса, координаты положения нитевой системы относительно базовой (установочной) плоскости.

К основным световым параметрам источников света относятся номинальный световой поток лампы (в люменах), максимальная сила света (в канделах), яркость тела накала (в нитах).

Автомобильная лампа накаливания состоит из колбы **1** (рис. 59), одной или двух нитей накала **2** и **3**, цоколя **7** с фокусирующим фланцем **5** или без него и выводов **6**. Стеклянная колба лампы может иметь шаровидную, каплевидную, грушевидную или цилиндрическую форму. Нити накала в двухнитевых лампах имеют различное функциональное назначение.

Цоколь лампы служит для крепления лампы в патроне светового прибора и подведения тока от источника электроснабжения к электродам, соединяющим контакты цоколя с нитями накала. Цоколи могут быть штифтовыми и фланцевыми различной конструкции.

Размеры и расположение нити накала в лампе нормируются отечественными и международными стандартами.



1 – колба; 2 – нить дальнего света; 3 – нить ближнего света; 4 – экран; 5 – фокусирующий фланец; 6 – выводы; 7 – цоколь.

Рисунок 59 – Автомобильные лампы накаливания:
а – фар головного освещения с европейской асимметричной системой светораспределения; *б* – галогенная категория H1; *в* – галогенная категория H3; *г* – галогенная категория H4; *д* – двухнитевая штифтовая; *е* – однонитевая штифтовая; *ж* – пальчиковая; *з* – софитовая.

При прохождении электрического тока нить накала лампы нагревается и при определенной температуре начинает излучать свет. Энергия светового излучения, воспринимаемого человеческим глазом, составляет только небольшую часть потребляемой лампой электрической энергии. Большая часть электрической энергии выделяется в виде теплового излучения.

Нить накала должна выдерживать высокие температуры, иметь малые размеры. Её изготавливают из тонкой вольфрамовой проволоки, свитой в цилиндрическую спираль. Спираль крепится

к электродам и обычно имеет форму прямой линии или дуги окружности.

Тугоплавкий вольфрам имеет температуру плавления 3380 °С. С повышением температуры спирали увеличивается яркость и световая отдача лампы. Однако при температуре нити накала свыше 2400 °С вольфрам интенсивно испаряется и, оседая на стенках стеклянной колбы, образует темный налёт, уменьшающий световой поток лампы. Вольфрам интенсивнее испаряется в вакуумных лампах. Поэтому лампы мощностью свыше 2 Вт заполняют смесью инертных газов – аргона и азота или криптона и ксенона. Благодаря большому давлению инертных газов в колбе газонаполненной лампы допускается более высокая температура нагрева спирали, что позволяет увеличить световую отдачу до 14-18 лм/Вт при сроке службы 125-200 ч.

Галогенные лампы. Повышение температуры нити накала до 2700-2900 °С достигается в лампах с галогенным циклом. Это обеспечивает на 50-60 % большую световую отдачу лампы. Колба галогенной лампы также заполняется инертным газом (аргон, ксенон, криптон и др.) и дополнительно небольшим количеством паров йода или брома. В лампах с йодным циклом частицы вольфрама, осевшие на стенках колбы после испарения нити накала, соединяются с парами йода и образуют йодистый вольфрам. При температуре колбы из жаростойкого кварцевого стекла 600-700 °С йодистый вольфрам испаряется, диффундирует в зону высокой температуры вокруг нити накала и распадается на вольфрам и йод. Вольфрам оседает на нити накала, а пары йода остаются в газовом пространстве колбы, участвуя в дальнейшей реализации йодного цикла.

Вольфрам испаряется быстрее с более нагретых участков нити накала. Так как температура нити накала выше у дефектных участков, испарение вольфрама с этих участков происходит интенсивнее. Однако, возвращаясь к телу накала, вольфрам оседает на более холодных его участках, поэтому йодовольфрамовый цикл не компенсирует усиленное испарение вольфрама с дефектных участков и не способствует существенному увеличению срока службы лампы.

Кроме йода и брома, галогенный цикл в автомобильных лампах накаливания обеспечивают соединения брома: бромистый метилен CH_3Br_2 и бромистый метил CH_2Br_2.

Световая отдача галогенных ламп составляет 22-25 лм/Вт, что в 1,5 раза превышает световую отдачу обычных ламп. Для реализации галогенного цикла необходима высокая температура стенок колбы – до 600-700 °С. Поэтому колбу галогенной лампы изготовляют из кварцевого стекла. Колба имеет небольшие размеры. Для обеспечения более равномерного отложения вольфрама на спиральной нити накала она должна быть выполнена в форме прямого цилиндра. Выводы галогенной лампы изготовляют из молибдена, температурный коэффициент расширения которого близок к коэффициенту расширения кварцевого стекла.

Однонитевые галогенные лампы категорий Н1, Н2 и Н3 применяются в противотуманных фарах, фарах-прожекторах и фарах рабочего освещения. Кроме того, они могут быть использованы в четырёхфарных системах головного освещения. Лампы Н1 и Н2 имеют нить, расположенную вдоль оси колбы, и отличаются конструкцией цоколя. Нить накала в лампе Н3 расположена перпендикулярно оси колбы.

Лампу накаливания категории Н7 устанавливают в фарах головного освещения. Специальный цоколь P43t/38 исключает установку лампы в не предназначенный для неё оптический элемент. Нити дальнего и ближнего света лампы категории Н7 имеют форму цилиндров и расположены вдоль оптической оси.

Параметры ламп накаливания. Сила тока, потребляемого лампой от источника электроэнерии, световой поток и световая отдача зависят от напряжения. Отечественная промышленность выпускает лампы с номинальным напряжением 6, 12 и 24 В. Расчетное напряжение ламп выше и составляет соответственно 6,3-6,75; 12,6-13,5 и 28 В. При повышении напряжения относительно расчетного значения увеличиваются сила тока, температура спирали, световой поток и световая отдача, но резко сокращается срок службы лампы. При понижении напряжения нить накала нагревается меньше, поэтому световой поток и световая отдача уменьшаются. При снижении напряжения на 50-

60 % лампа практически не излучает света.

Для повышения уровня унификации, стандартизации и сокращения номенклатуры световых приборов автомобилей различного целевого назначения выпускают взаимозаменяемые лампы, независимо от их номинального напряжения. Характеристики световых приборов обычно нормируют при установке в них ламп, рассчитанных на номинальное напряжение 12 В. При других номинальных напряжениях требуемые характеристики тех же световых приборов обеспечиваются путём соответствующих изменений в конструкции лампы.

Напряжение питания ламп накаливания на автомобиле зависит от настройки регулятора напряжения, состояния источников электроэнергии в цепях питания световых приборов, от количества включенных потребителей, сечения и протяженности соединительных проводов. Лампы должны выдерживать возможные в системе электрооборудования автомобиля колебания напряжения.

Обозначение автомобильных ламп накаливания. Отечественные автомобильные лампы имеют обозначение типа (например, А12-45+40), в которое входят буква А (автомобильная), указание на величину номинального напряжения (6, 12 и 24 В) и потребляемую мощность в ваттах нитей накала дальнего и ближнего света. Значения мощности двухнитевых ламп пишутся одно за другим через знак "+". К перечисленным составляющим обозначения типа лампы может быть через знак "-" добавлена цифра для указания модификации типа. В обозначение типа галогенных ламп (например АКГ12-60+55) дополнительно введены буквы К (кварцевая) и Г (галогенная). Буквенные обозначения МН и С относятся к миниатюрным и софитным лампам соответственно.

Для фар головного освещения с европейской системой светораспределения выпускается единая двухнитевая лампа со специальным унифицированным фланцевым цоколем типа Р45t/41. Фланец ступенчатой формы напаян на цоколь диаметром 22 мм. Наличие двух базовых опорных поверхностей фланца позволяет применять лампу в оптических элементах фар с фокусными расстояниями 27 и 22 мм. Лампа имеет три штекерных

вывода по контактную колодку, вставляется с задней стороны отражателя и закрепляется пружинящими защелками.

Отечественная промышленность выпускает двухнитевые галогенные лампы АКП12-60+55 и АКГ24-75+70 (категория Н4) для головных фар с европейским светораспределением и однонитевые лампы АКП12-55, АКГ24-70 (категория Н1) и АКГ12-55-1, АКГ24-70-1 (категория Н3) для прожекторов и противотуманных фар.

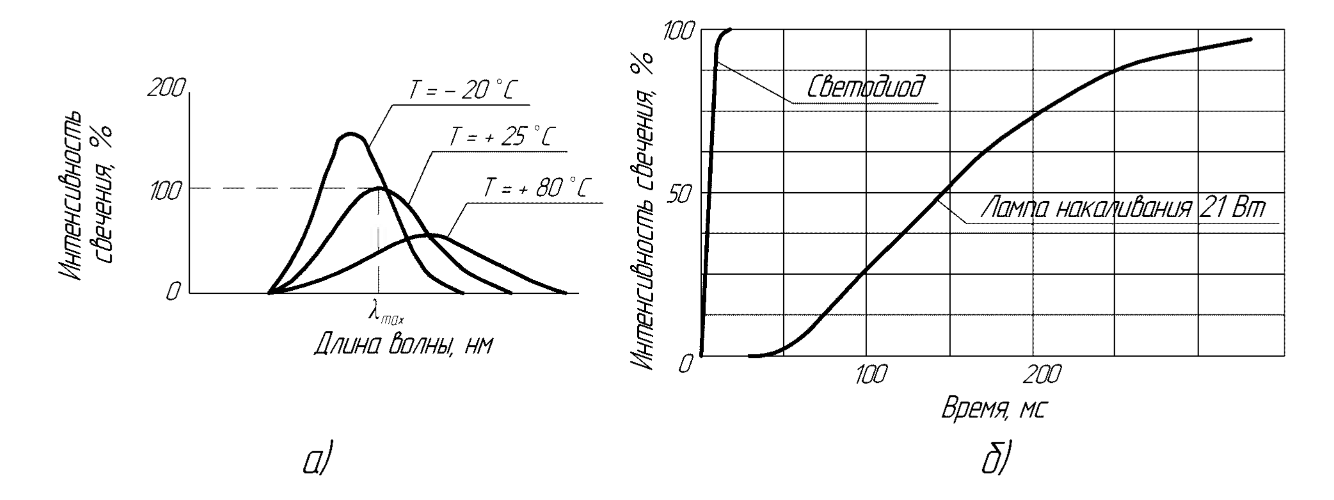
Светосигнальные фонари обеспечивают необходимые светотехнические характеристики при силе света от единицы до 700 кд. Номинальная мощность ламп светосигнальных фонарей не превышает 21 Вт. Для сигналов торможения и указателей поворота выпускают лампы А12-21-3 и А24-21-2 с штифтовым цоколем BA15s/19. Двухнитевая лампа А12-21+5 с цоколем BAY15d предназначена для фонарей, совмещающих функции габаритного огня и сигнала торможения. В габаритные фонари устанавливают однонитевые лампы А12-5-2 и А24-5-2 с цоколем W2,lx9,5d. Выпускают также софитные лампы АС12-5-1 с цоколем SV8,5/8, а для освещения салона приборов, блоков контрольных ламп и световых ламп и световых табло – лампы А12-1, А24-1, А12-1,2, А24-2, АМН12-3-1 и АМН24-3. Миниатюрный цоколь BA9s/14 имеют однонитевые лампы А12-4-1 и АМН24-4.

Автомобильные светодиоды. Светодиоды применяются в щитках приборов на передней панели, в отдельных узлах для подсветки кнопок и ручек управления вместо миниатюрных ламп накаливания. Светодиодные линейки используются в сигналах торможения и световых индикаторах для построения шкал и цифр. Прогрессивные технологии и применение новых материалов позволили создать светодиоды с высокой световой отдачей, которые обеспечивают силу света, достаточную для изготовления световых приборов, хорошо видимых даже при ярком солнечном свете. Сверхъяркие диоды открывают дополнительные возможности для конструкторов автомобилей при замене дамп накаливания в элементах светотехники.

Светодиоды обладают значительно большей надежностью. Их срок службы превышает срок службы автомобиля. Изделие, выполненное на светодиодных материалах, сохраняет

свое функциональное назначение при выходе из строя одного или нескольких светодиодов, но при перегорании нити накала лампы изделие полностью прекращает выполнять свои функции.

Цвет свечения светодиода, сила света и световой поток зависят от силы потребляемого тока. Вольт-амперная характеристика светодиода аналогична вольт-амперной характеристике обычного диода с $p-n$–переходом со всеми присущими ему недостатками. В частности, длина волны и интенсивность излучаемого света зависят от температуры (рис. 60*а*). Изменение длины волны излучения для светодиода при изменении температуры составляет 0,1 нм/°С.



а – при различных температурах; *б* – от времени включения светодиода и лампы накаливания.

Рисунок 60 – Изменение интенсивности свечения светодиода

В связи с тем, что температура полупроводникового перехода в первую очередь определяется силой тока, особое внимание необходимо уделять правильному выбору силы тока при конструировании светодиодного прибора и поддержанию заданной силы тока при эксплуатации. Типовое (номинальное) значение силы тока в прямом направлении указывается в технической характеристике светодиода. У автомобильных светодиодов сила тока в прямом направлении составляет около 20 мА, у суперультраярких светодиодов 80 мА, у слаботочных диодов 1-2 мА. Схемотехническое решение по стабилизации тока определяется качеством напряжения питания. Не рекомендуется параллельное или

смешанное соединения группы светодиодов, так как из-за разброса параметров несмотря на то что светодиоды разбиты по классам, сила тока в них не будет одинаковой и, следовательно, интенсивность свечения будет различной. Для большинства групп светодиодов целесообразно использовать стабилизированные источники тока.

На рисунке 60*б* приведена зависимость изменения интенсивности свечения при включении светодиодов и ламп накаливания от времени включения. Если в светодиоде типовая сила света (интенсивность излучения) достигается за 1,4 мкс, то в лампе накаливания сила света, составляющая 75 % типовой силы света, обеспечивается лишь за время, превышающее 200 мс, что при нормальной реакции водителя на сигнал торможения при скорости движения 120 км/ч соответствует сокращению дистанции между движущимися автомобилями примерно на 5 м.

Появление сверхъярких автомобильных диодов и замена ими ламп накаливания открывает перед конструкторами значительные дополнительные возможности по дизайну кузова автомобиля, особенно если светодиоды используются в конструкции габаритных фонарей, сигналов торможения, указателей поворота и их боковых повторителей.

Ксеноновые лампы. На автомобилях находят применение новые источники света – ксеноновые лампы, спектр излучения которых близок к солнечному свету. Светоизлучение ксеноновой лампы обеспечивает дуговой разряд между электродами, которые расположены в колбе, заполненной инертным газом. Светоотдача лампы достигает 80 лм/Вт, они не перегорают и не боятся вибраций.

Однако чтобы ионизировать инертный газ, необходимо обеспечить пробой междуэлектродного промежутка начальным импульсом напряжения 20 кВ. Кроме того, рабочий режим лампы обеспечивается при подаче на электроды переменного тока напряжением 330 В и частотой 300 Гц. Эти проблемы в настоящее время решаются с помощью полупроводниковых преобразователей путем трёхступенчатого преобразования напряжения.

Ксеноновая лампа D1 благодаря большей светоотдаче имеет мощность 35 Вт. Масса её 15 г. В то же время масса преобразователя составляет примерно 0,5 кг. Для установки на автомобиле системы освещения с ксеноновой лампой необходимо использовать

как минимум два комплекта таких преобразователей, чтобы обеспечить требуемое светораспределение фар дальнего и ближнего света. Это делает систему головного освещения достаточно сложной и дорогостоящей.

9.11. СИСТЕМЫ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Автомобильные фары должны удовлетворять двум противоречивым требованиям: хорошо освещать дорогу перед автомобилем и не ослеплять водителей транспортных средств при встречном разъезде. Ослепление светом фар водителей встречных автомобилей является серьезной проблемой, непосредственно связанной с обеспечением безопасности движения. В настоящее время она решается применением двухрежимных систем головного освещения с дальним и ближним светом.

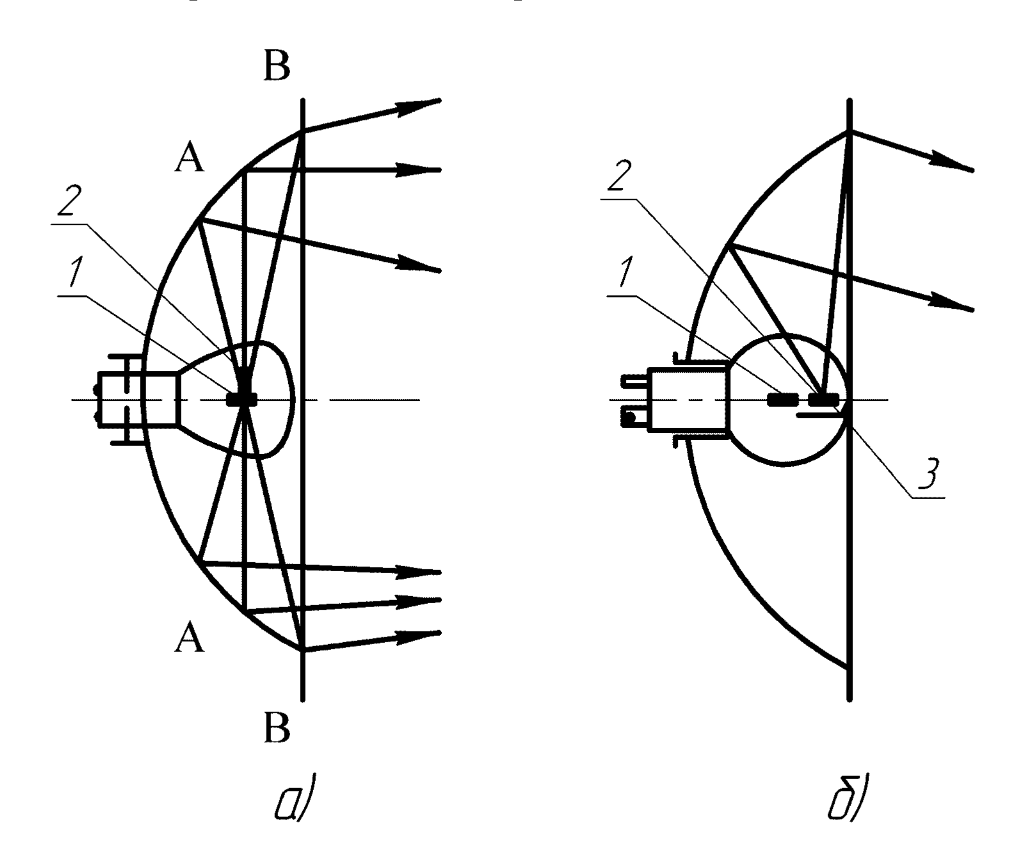
Дальний свет фар предназначен для освещения дорожного полотна перед автомобилем при отсутствии встречного транспорта. Ближний свет обеспечивает освещение дороги перед автомобилем при движении в населенных пунктах или при разъезде со встречным транспортным средством на шоссе. Ближний свет значительно снижает ослепление участников дорожного движения при достаточном уровне освещенности дороги и правой стороны обочины. Фары головного освещения должны обеспечивать необходимую видимость дороги и объектов на ней при дальнем и ближнем свете. Переключение с дальнего света на ближний при встречном разъезде должно осуществляться водителями обоих транспортных средств одновременно при расстоянии между машинами не менее 150 м.

Для получения дальнего и ближнего света в двухфарных системах освещения используют двухнитевые лампы накаливания. Современные автомобили оборудуют фарами головного освещения с американской и европейской системами асимметричного светораспределения ближнего света. Асимметричный световой пучок обеспечивает лучшую освещенность той стороны дороги, по которой движется автомобиль, и уменьшает ослепление водителя встречного транспорта.

В лампах фар с американской и европейской системами светораспределения нить накала дальнего света располагают в фокусе

отражателя. Световой пучок дальнего света с малым углом рассеяния может быть получен при минимальных размерах спирали, выполняемой в виде дуги, лежащей в горизонтальной плоскости. Большие линейные размеры нити дальнего света по горизонтали обусловливают большее рассеяние светового пучка в горизонтальной плоскости.

В фарах с американской системой светораспределения нить **2** ближнего света (рис. 61*а*) в виде спирали цилиндрической формы смещена несколько вверх и вправо относительно фокуса, если смотреть на отражатель со стороны светового отверстия. Спираль ближнего света расположена поперек оптической оси.



1 – нить дальнего света; 2 – нить ближнего света.

Рисунок 61 – Автомобильные фары с различными системами распределения ближнего света:

а – американская система; б – европейская система.

Если источник света выведен из фокуса, отраженный параболоидом пучок света отклоняется от оптической оси. При этом пучок света разделяется на две части. Одна часть светового пучка, попадающая на внутреннюю поверхность отражателя от вершины

до фокальной плоскости **АА**, отражается вправо и вниз относительно оптической оси. Остальная часть светового пучка, отражаемая от внешней части параболоида между фокальной плоскостью **АА** и плоскостью светового отверстия **ВВ**, направлена влево и вверх и попадает в глаза водителя встречного автомобиля.

Световой пучок фар ближнего света с американской системой распределения не имеет четкой светотеневой границы. Увеличение угла рассеяния отраженного светового пучка требует дополнительного светораспределения рассеивателем со сложной структурой оптических микроэлементов. Для уменьшения светового потока лучей, направленных вверх и влево от оптической оси, применяют отражатели с меньшей глубиной. Светораспределение фар американской системы регламентируется силой света в контрольных точках измерительного экрана.

В фарах с европейской системой светораспределения нить **2** ближнего света (рис. 61б) цилиндрической формы выдвинута вперед по отношению к нити **1** дальнего света и расположена чуть выше и параллельно оптической оси. Лучи от нити ближнего света, попадающие на верхнюю половину отражателя, отражаются вниз и освещают близлежащие участки дороги перед автомобилем. Непрозрачный экран, расположенный под нитью **2** ближнего света, исключает попадание световых лучей на нижнюю половину отражателя, поэтому глаза водителя встречного транспортного средства находятся в теневой зоне. Одна сторона экрана отогнута вниз на угол 15°, что позволяет увеличить площадь активной поверхности левой половины отражателя и освещенность правой обочины и правой полосы движения автомобиля.

Световой пучок фар с европейской системой светораспределения при их работе в режиме ближнего света имеет четко выраженную светотеневую границу, что обеспечивает четкое разделение на освещенную зону и зону неслепящего действия. Фары европейской системы, предназначенные для правостороннего движения, при освещении ближним светом вертикального экрана должны создавать на нем светотеневую границу, имеющую с левой стороны горизонтальный участок, а с правой – участок, направленный под углом 15° к горизонтали.

Рассеиватель фары европейской системы меньше влияет на организацию светораспределения по сравнению с фарой американской системы. Большая часть нижней половины рассеивателя при ближнем свете не используется и рассчитана на распределение дальнего света, что улучшает характеристики фары в режиме дальнего света.

9.12. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Для улучшения условий освещения дороги разрабатываются так называемые "интеллектуальные" устройства, обеспечивающие автоматическое регулирование светораспределения фар головного освещения в зависимости от метеоусловий и геометрического профиля дорожного полотна. Очевидно, что требования к структуре светового пучка фары при движении машины по скоростной магистрали, по неосвещенным дорогам в сельской местности и по дорогам со значительными изгибами не могут быть одинаковыми.

Усовершенствованные системы освещения, разработанные в рамках европейской программы «Эврика AFS», позволяют получить желаемое светораспределение пучка головного света за счёт вращения части отражателя или установки в блок-фаре дополнительных поворачиваемых фар проекторного типа, у которых к тому же может изменяться интенсивность свечения.

Информация для выполнения функций «интеллектуального света» поступает с датчиков угла поворота рулевого колеса, скорости движения автомобиля и его ускорения, включения указателей поворота, направления взгляда водителя и т.д.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются звуковые сигналы?

2. Из каких основных элементов состоит безрупорный шумовой сигнал?

3. Из каких основных элементов состоит рупорный тональный сигнал?

4. В чём заключаются конструктивные отличия звукового сигнала переменного тока?

5. Какие схемы управления применяются на тракторах и автомобилях?

6. В чём состоит роль систем освещения и сигнализации в обеспечении безопасности дорожного движения?

7. По каким признакам классифицируются световые приборы?

8. Какими светотехническими параметрами характеризуются световые приборы и устройства?

9. Какие основные требования предъявляются к установке устройств освещения и световой сигнализации?

10. Какие типы источников света применяются в световых приборах?

11. Как осуществляется маркировка автомобильных ламп?

12. В чём заключается различие европейской и американской систем светораспределения?

10. ИНФОРМАЦОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

10.1. НАЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Автомобильная информационно-диагностическая система (АИС) является составной частью современного автомобиля и предназначена для сбора, обработки, хранения и отображения информации о режиме движения и техническом состоянии машины, а также окружающих её внешних факторов. Для этой цели на автомобиле устанавливаются контрольно-измерительные приборы (КИП) и различные дополнительные устройства: бортовая система контроля (БСК), система встроенных датчиков (СВД), маршрутный компьютер (МК) и навигационная система (НС).

С точки зрения характера отображаемой информации она подразделяется на:

- оперативную;
- дополнительную (в том числе контрольно-диагностическую);
- внешнюю.

Устройства и приборы, предоставляющие водителю информацию, определяют структуру АИС:

- оперативная информация (электромеханическая комбинация приборов, электронный щиток приборов, ветровое стекло);
- дополнительная информация (БСК, СВД, МК, НС);
- внешняя информация (телевизионная установка заднего вида, радиотелефон и развлекательные устройства, навигационные, локационные и другие устройства).

Контрольно-измерительные приборы информируют водителя о скорости движения автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, напряжении бортовой сети, количестве топлива в баке, температуре охлаждающей жидкости, давлении масла. Также КИП информирует о возникновении аварийных ре-

жимов в системе смазки двигателя – о падении давления масла, в системе охлаждения – о перегреве охлаждающей жидкости.

В функции бортовой системы контроля входит информирование водителя о ряде параметров систем и агрегатов машины, изменение состояния которых не создаёт аварийного режима и не требует немедленного вмешательства, а предупреждает о необходимости принятия мер по техническому обслуживанию. С помощью БСК возможен автоматизированный контроль уровня эксплуатационных жидкостей в заправочных ёмкостях, состояние тормозных колодок, исправности ламп приборов светосигнальной аппаратуры, состояния фильтров.

Для снижения трудоёмкости и уменьшения времени диагностирования автомобили оборудуют системой встроенных датчиков, имеющих выводы на штекерный разъём. К данному разъёму подключается диагностическая аппаратура. При наличии на борту автомобиля диагностического прибора, подсоёдиненного к СВД, водитель может самостоятельно с минимальными затратами времени оценить техническое состояние машины.

В последнее время для автомобилей и тракторов стали разрабатываться устройства, предоставляющие водителю дополнительную информацию, связанную со скоростью движения, расходом топлива, пройденным расстоянием и временем. Данные устройства получили название маршрутных компьютеров.

Современная концепция единой системы «водитель – автомобиль – дорога – окружающая среда» предполагает наличие не только оперативной и контрольно-диагностической информации о режиме движения и состоянии машины, но также внешней информации о состоянии дороги (пробки, ремонт, обледенения и т.п.), карте дорог, оптимальном маршруте следования и погодных условиях. Эта информация поступает в АИС извне (от системы датчиков, установленных вдоль автомагистрали, специальных радиопередающих станций, по спутниковой связи). Данные системы называются навигационными.

Не следует забывать и такие информационные возможности современного автомобиля, как телевизионная установка заднего вида (применяется, как правило, на большегрузных автопоездах), которая во время стоянки превращается в обычный телевизор, а также радиотелефон, компьютерные игры и т.п.

10.2. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Основной функцией информационно-измерительной системы является обеспечение водителя информацией о режиме движения, работоспособности или состоянии агрегатов машины и автомобиля в целом.

Уровень информативности обеспечивается конструкцией как самих приборов, так и компоновкой их на приборном щитке. При размещении приборов на приборном щитке используется зонально-функциональный принцип, т.е. наиболее важные, связанные с безопасностью движения приборы, к которым водитель обращается часто, например, приборы контроля скоростного режима работы двигателя и машины (спидометр и тахометр), размещаются в центральной зоне, приборы, обращение к которым производится достаточно редко, например, информирующие о расходе топлива, состоянии системы электроснабжения, устанавливаются в зонах более удаленных, т.е. меньшей информативности. Оптимальный угол обзора, в котором размещаются приборы на щитке, должен составлять без перевода взгляда 30–40° по горизонтали, с переводом взгляда 50–60°, а с поворотом головы 90°. В вертикальной плоскости максимально допустимые углы обзора щитка должны укладываться в диапазон 30° вверх и 40° вниз от взгляда водителя.

Шкалы приборов должны выполняться так, чтобы считывание показаний не вызывало затруднений. Этому способствует расцветка шкал по зонам, соответствующим определенной информации: нормально – зеленый цвет, предупреждение – желтый, аварийные величины – красный с оцифровкой в конце зон. Цифры на шкале должны иметь вертикальное расположение, а если шкала вращается, то должны располагаться вертикально при приближении к неподвижному указателю, подвеска шкал не должна создавать бликов на защитном стекле. Световые сигнализаторы должны обеспечивать достаточную яркость для восприятия их водителем. Для аварийных сигнализаторов применяется красный мигающий свет с частотой 3-5 Гц.

По способу отображения информации приборы информационно-измерительной системы делятся на:

- указывающие;
- сигнализирующие.

Указывающие приборы имеют шкалу, на которой высвечиваются, указываются стрелкой, световым индикаторным столбиком или другим способом значения измеряемой величины, сигнализирующие приборы снабжают водителя информацией обычно об одном, как правило, аварийном значении измеряемого параметра, причем информируют об этом звуковым или световым сигналом.

Каждый прибор имеет ту или иную степень точности, т.е. указывает измеряемую величину с некоторой погрешностью – абсолютной или относительной – по отношению к действительному значению. Эта погрешность складывается из двух частей – основной, свойственной нормальным условиям эксплуатации, и дополнительной, вызываемой воздействием внешних условий – изменением окружающей температуры, напряжения питания и т.п.

По конструктивному исполнению приборы делятся на:

- механические;
- электрические;
- электронные измерительные системы.

В механических приборах используют для передачи воздействия на стрелку от места измерения механические, пневматические или иные передачи. Электрические измерительные приборы состоят из датчика и указателя, соединенных между собой проводами. Датчик устанавливается в месте измерения и преобразует измеряемую физическую величину в электрический сигнал. В указателе этот сигнал испытывает обратное преобразование с помощью стрелки и шкалы, отградуированной в единицах физической измеряемой величины. Электронные измерительные системы расширяют возможности, как в количестве контролируемых параметров, так и в способах отображения информации. В частности, в таких системах приборный щиток может быть заменен дисплеем.

По своему назначению приборы информационно-измерительной системы делятся на термометры, измерители давления, измерители уровня топлива, измерители зарядного режима аккумуляторной батареи (амперметры, вольтметры), измерители скорости машины и пройденного пути (спидометры, одометры), измерители частоты вращения коленчатого вала двигателя (тахометры). К автомобильным приборам относятся также тахографы, вычерчивающие на контрольном диске условия движения, и эконометры, позволяющие подобрать режим движения, оптимальный по расходу топлива.

10.3. ДАТЧИКИ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Реостатные датчики. Применяются там, где в электрической части измерительной системы используется для замеров метод сопротивлений. По данному методу величина сопротивления на выходе реостата изменяется в связи с изменением физической величины. По своей сути реостатный датчик является датчиком перемещения – сопротивление на выходе реостатного датчика изменяется с перемещением его ползуна в соответствии с выражением:

$$R = R_0 + JX\,, \qquad (41)$$

где R_0 – начальное сопротивление на выходе датчика;

J – крутизна изменения сопротивления.

Чем выше крутизна J, тем чувствительнее датчик, однако большая величина чувствительности связана с ростом общего сопротивления датчика и, следовательно, с протеканием малых значений силы тока, трудно измеряемых автотестером.

Современные реостатные датчики выполняются намазными из проводящих паст на подложке. Реостатный датчик может быть выполнен с нелинейным законом изменения выходного сопротивления.

Основным недостатком реостатного датчика является возникновение в нём дополнительной погрешности при изменении температуры окружающей среды.

Терморезистивные датчики. Чувствительным элементом терморезистивного датчика является полупроводниковое термосопротивление, отличительная особенность которого состоит в том, что изменение температуры вызывает значительное изменение его сопротивления. Конкретная связь температуры и сопротивления зависят от материала и размеров чувствительного элемента, поэтому величина сопротивления при заданной температуре имеет довольно широкий интервал (рис. 62).

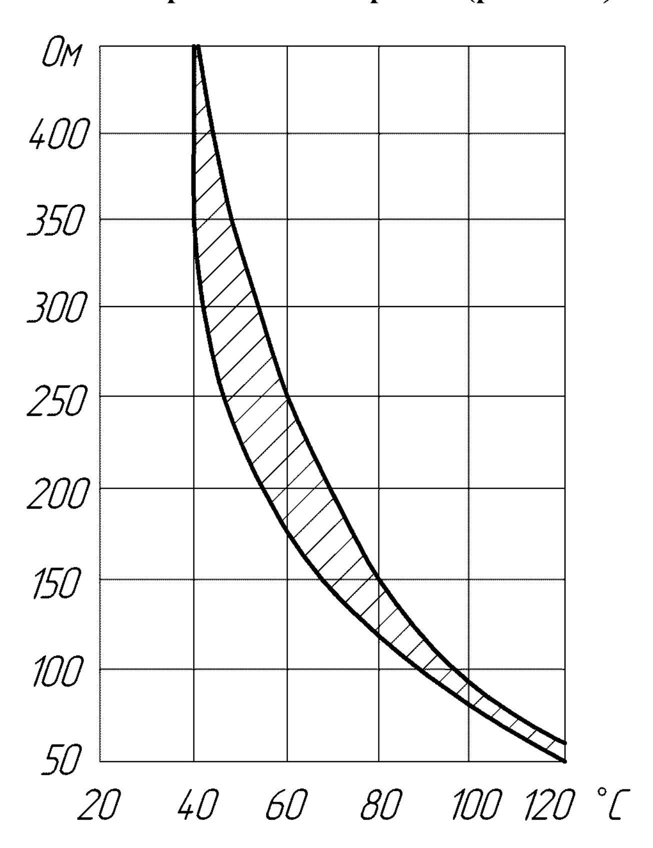


Рисунок 62 – Зависимость сопротивления терморезистивного датчика от температуры

Термобиметаллические датчики. Применяются как в сигнализирующих, так и в указывающих приборах импульсной системы.

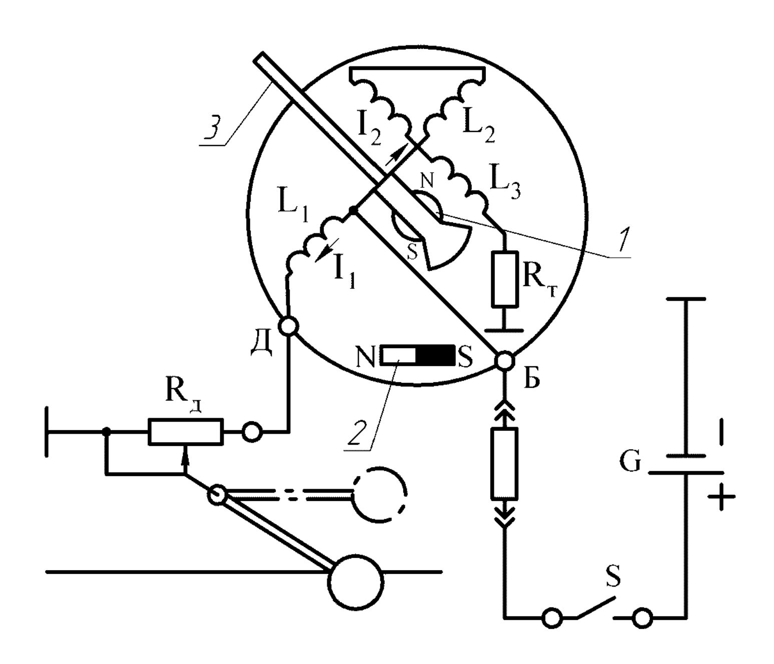
Основной частью термобиметаллического датчика является тонкая двухслойная пластинка (термопара), выполненная их двух слоёв металлов с разными значениями температурного коэффициента линейного расширения, соединенных методом плакирования. Активный слой имеет большой коэффициент линейного расширения и выполняется обычно из инвара, пассивный, с

меньшим коэффициентом линейного расширения – из хромоникелевой или молибденовой стали. При нагреве биметаллическая пластинка прогибается в сторону пассивного слоя тем сильнее, чем больше температура окружающей среды. При этом может замыкаться или размыкаться контактная пара, подвижный контакт которой закреплён на конце пластины.

Датчики допускают регулировку температуры включения винтом перемещения неподвижных контактов. Термобиметаллический датчик указывающих приборов снабжён нагревательной спиралью, включенной последовательно с контактами датчика. Включение датчика зависит от суммарной температуры окружающей среды и развиваемой нагреваемой спиралью.

10.4. УКАЗАТЕЛИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Магнитоэлектрические указатели. В качестве магнитоэлектрических указателей на машинах наиболее распространены трёхобмоточные логометры. Логометр имеет две обмотки L_1 и L_2, расположенные соосно, но намотанные встречно. Третья обмотка L_3 перпендикулярна первым двум. Применение трёх обмоток позволяет повысить точность логометра, так как расширяет возможности его шкалы до 120-160 градусов (рис. 63).



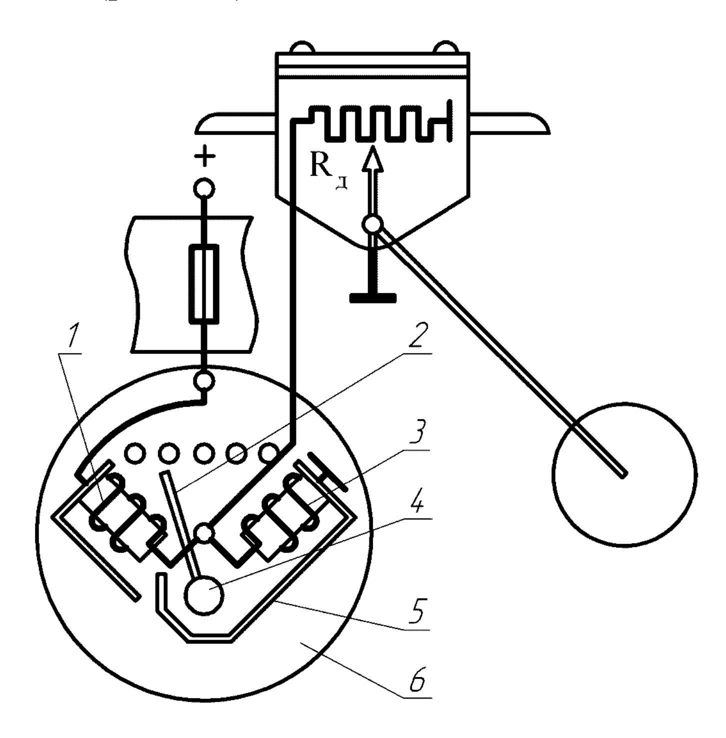
1 – подвижный магнит; 2 – неподвижный магнит; 3 – стрелка.

Рисунок 63 – Принципиальная схема логометрического указателя

В настоящее время наибольшее распространение получают логометры с переключением обмоток электронной схемой, позволяющие расширить шкалу прибора до 360 градусов.

К достоинствам логометра следует отнести независимость его показаний от величины напряжения питания, так как с ростом напряжения токи всех обмоток и следовательно, их магнитодвижущие силы (МДС) возрастают пропорционально, так что МДС остается прежней.

Электромагнитные указатели. В электромагнитных указателях поворотный якорёк из магнитомягкого материала, соединенный со стрелкой, притягивается двумя расположенными под углом катушками (рис. 64).



1, 3 – катушки; 2 – стрелка; 4 – якорёк; 5 – полюсные наконечники; 6 – корпус.

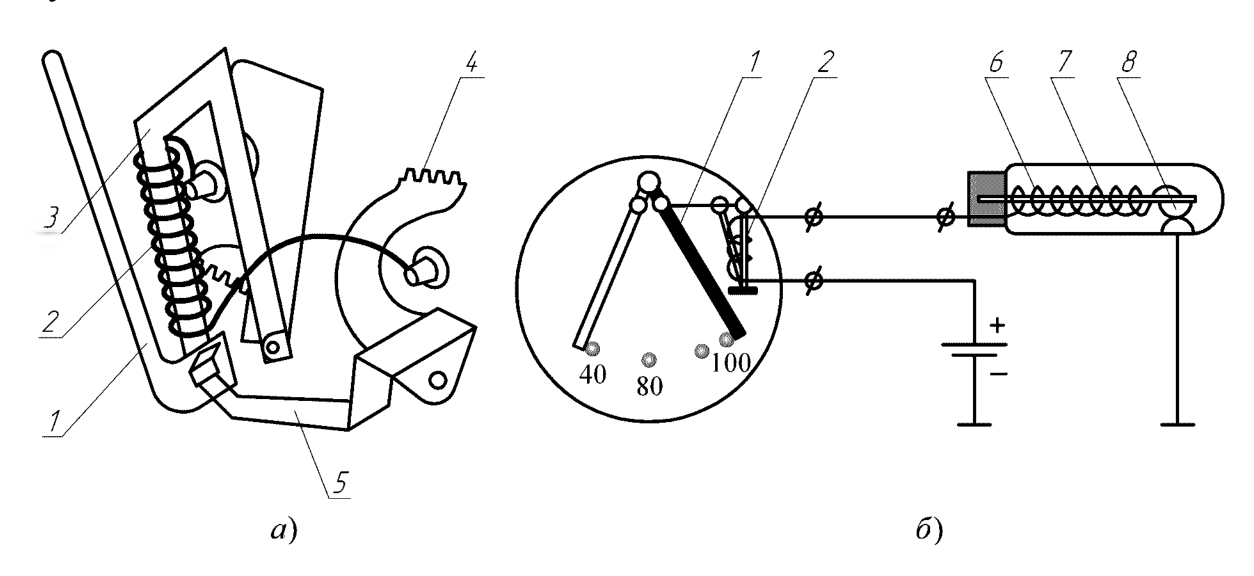
Рисунок 64 – Принципиальная электрическая схема электромагнитного указателя

Если МДС катушек одинаковы, силы воздействия на него обеих катушек уравновешиваются. При изменении сопротивления датчика $R_д$, например, в сторону уменьшения, сила тока в катушке **1** увеличивается, а в катушке **3** уменьшается и якорёк со стрелкой поворачивается в сторону большей силы притяжения, т.е. к катушке **1**, при увеличении сопротивления датчика поворот

происходит в обратную сторону. Уравновешивание действия магнитных сил на якорёк и возврат стрелки в нулевое положение осуществляется под действием противовеса, которым снабжён якорёк. Это накладывает определенные требования по положению электромагнитных указателей на приборном щитке.

Конструкция прибора содержит, кроме катушек, якорька, шкалы, стрелки и ряда конструктивных элементов. магнитопровод катушек в виде полюсных наконечников для подведения магнитного потока катушек к якорьку.

Указатели импульсной системы. Указатели импульсной системы могут использоваться только с термоэлектрическими датчиками и составляют в комплекте с ними единую импульсную систему. На рисунке 65 представлена конструкция указателя импульсной системы.



1 – стрелка; 2 – спираль указателя; 3 – П-образная термобиметаллическая пластина; 4 – регулировочный сектор; 5 – упругая пластина; 6 – спираль датчика; 7 – биметаллическая пластина датчика; 8 – контакты.

Рисунок 65 – Импульсная система: *а* – устройство указателя; б – схема импульсного измерения температуры.

Его основу составляет П-образная биметаллическая пластина, на одной ножке которой, соединенной со стрелкой, расположена нагревательная спираль, другая ножка закреплена на регулировочном секторе. При регулировке прибора сектор с закрепленным на нём концом биметаллической пластины перемещают

с помощью зубьев. Второй регулировочный сектор с упругой пластиной, создающей шарнирную опору стрелки, также при регулировке может перемещаться с помощью зубьев. Соединенное с ним плечо П-образной пластины является термокомпенсационным, при изменении температуры воздуха, окружающего указатель, изгиб этого плеча компенсирует возникающий по этой же причине изгиб плеча, соединенного со стрелкой. Спираль указателя и термобиметаллический датчик включены последовательно. До включения прибора стрелка указателя находится в положении вне пределов градуированной шкалы прибора. После включения прибора ток начинает протекать в общей цепи спиралей датчика и указателя, нагревая биметаллические элементы. Биметаллическая пластина датчика изгибается, при этом размыкаются и его контакты, ток в общей цепи пропадает. Время нахождения контактов датчика в разомкнутом состоянии зависит от температуры окружающей среды, на которую и призван реагировать датчик термометра, и от давления на контакты, оказываемое извне, что характерно для измерителей давления. После остывания биметаллической пластины контакты замыкаются на определенное время, и ток вновь начинает протекать в общей цепи датчика и указателя, нагревая биметаллические элементы.

Действующее значение силы тока в спирали, нагревающей биметаллическую пластину указателя, рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{Д}} = I_{\text{О}} \sqrt{\frac{T_з}{T_з + T_P}}, \qquad (42)$$

где $I_{\text{о}}$ – сила тока в общей цепи при разомкнутых контактах;

$T_з$ – время замкнутого состояния контактов;

T_P – время разомкнутого состояния контактов.

Точность импульсных приборов невелика, однако их отличает достаточно простое устройство и, соответственно, невысокая стоимость.

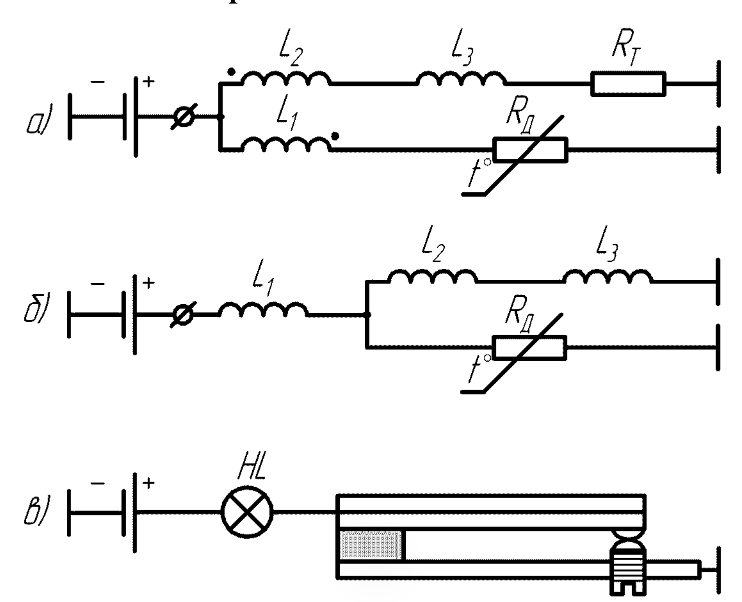
10.5. ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ (ТЕРМОМЕТРЫ)

Термометры применяются для контроля теплового режима двигателя, а также (на некоторых машинах) для контроля те-

плового состояния аккумуляторной батареи, системы смазки, гидравлической трансмиссии, отопителя и т.п. В настоящее время для замера величин температуры на автомобилях устанавливаются системы с магнитоэлектрическим логометром и терморезистивным датчиком. Приборы указывают температуру охлаждающей двигатель жидкости, температуру масла или температуру электролита аккумуляторной батареи.

Приборы, контролирующие температуру двигателя, работают с датчиками ТМ 100, А, В или ТМ 106. Модификации датчиков ТМ 100, А,В не отличаются по выходным параметрам и обеспечивают величину сопротивления при температуре +40°С – 400–530 Ом, при +100°С – 80–95 Ом. Датчик ТМ 106, устанавливаемый на автомобили ВАЗ, обеспечивает величину сопротивления при +30°С – 1350–1880 Ом, при +90°С – 155–196 Ом.

Замер температуры электролита осуществляется датчиком 11.3842 с величиной сопротивления при нулевой температуре в пределах 210-370 Ом. Схемы термометров, применяемых на машинах, представлены на рис. 66*а* и 66б.



а – с термокомпенсационным сопротивлением; б – без термокомпенсационного сопротивления; *в* – термосигнализатор.

Рисунок 66 – Электрические схемы термометров

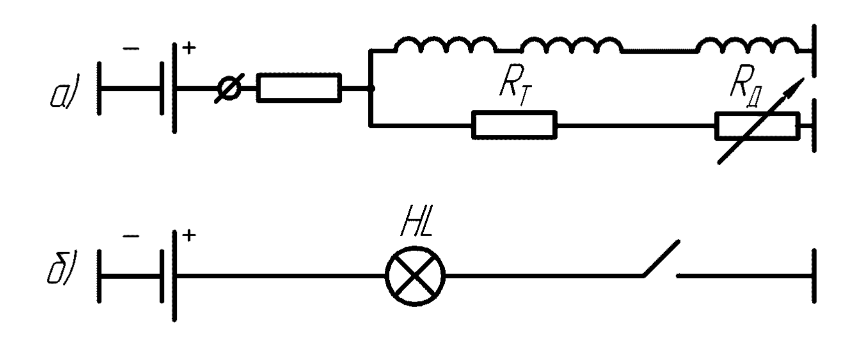
На автомобилях ВАЗ-21083, -21093, оборудованных микропроцессорной системой, в качестве датчика температуры установлена интегральная микросхема 19.3828 с диапазоном измерения температуры -40…+125°С и потреблением тока 0,001 А.

Термобиметаллические датчики используются в системе аварийных сигнализаторов температуры. Схема их включения приведена на рис. 66*в*.

10.6. ИЗМЕРИТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ (МАНОМЕТРЫ)

Измерители давления применяются для определения давления в системе смазки, пневмосистеме тормозов, системе централизованной подкачки шин, которая применяется в основном на автомобилях повышенной проходимости. В них используются магнитоэлектрические логометрические указатели давления с мембранными датчиками и реостатным выходом или указателями и датчиками импульсной системы. Последние на современных автомобилях практически не встречаются.

Схема манометра с реостатным датчиком представлена на рис. 67*а*. Сопротивление $R_Д$ включается в системах на бортовое напряжение 24 В для гашения напряжения.



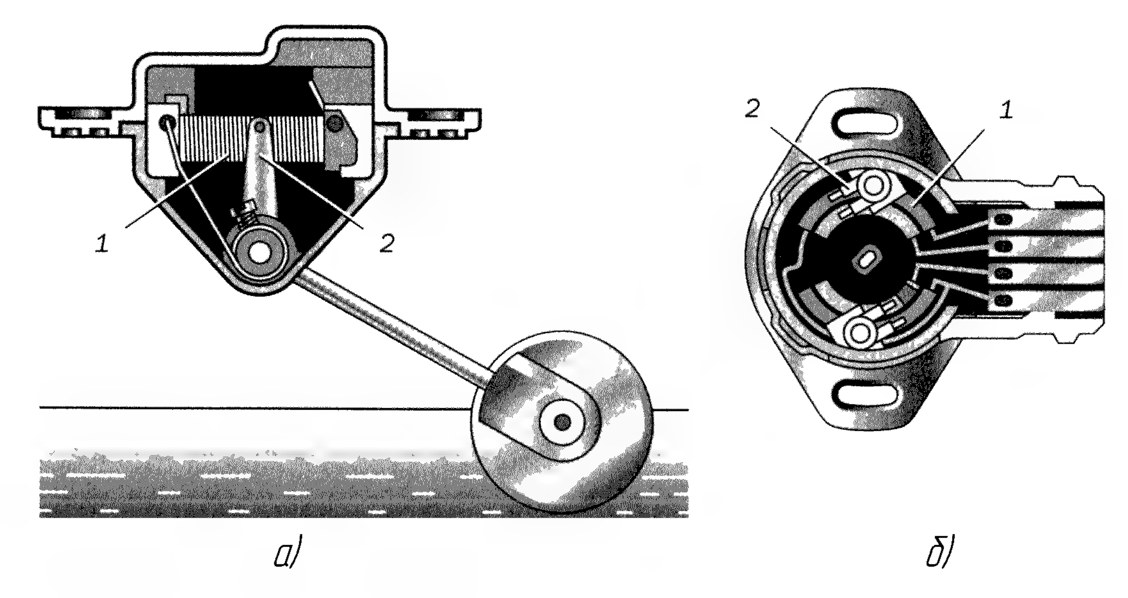
а – с реостатным датчиком и логометрическим указателем;
б – сигнализатор аварийного давления.

Рисунок 67 – Электрические измерители давления

Датчики сигнализаторов давления мембранного типа включаются последовательно в цепь контрольной лампы или звукового сигнала по схеме рис. 67*б*.

10.7. ИЗМЕРИТЕЛИ УРОВНЯ ТОПЛИВА (УРОВНЕМЕРЫ)

В измерителях уровня топлива используется реостатный датчик, помещенный в топливный бак (рис. 68). С выработкой топлива поплавок перемещается и через рычаг воздействует на ползунок реостата, который, соответственно, меняет своё положение. Если автомобиль имеет два бака, то датчики помещают в каждый бак, при этом водитель с помощью переключателя может определить уровень топлива в каждом баке. Специальные контакты, установленные в некоторых типах датчиков, замыкаются при снижении уровня топлива до минимального уровня, позволяющего проехать ограниченное расстояние до заправки. Контакты включают контрольную лампу на щитке приборов, т.е. образуют сигнализирующий прибор выработки топлива.



1 – сопротивление реостата; 2 – ползунок.

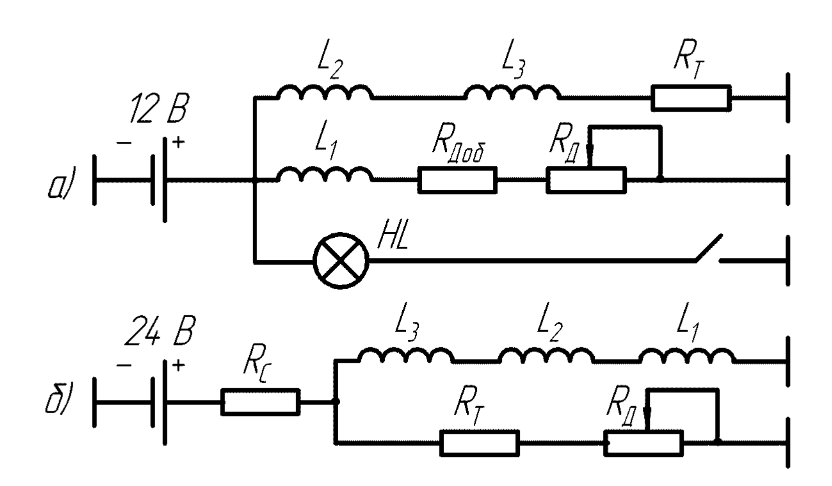
Рисунок 68 – Общий вид реостатного датчика:
а – с проволочной навивкой; б – намазной.

В указателях уровня топлива используются магнитоэлектрические приборы (логометры) или, реже, электромагнитные указатели. Логометры соединяются с датчиком по схеме, приведенной на рис. 69.

Схема на рис 69*а* характерна для системы с напряжением $U = 12$ В, а на рис. 69б – для системы с напряжением $U = 24$ В, поэтому данная система имеет R_C, гасящий напряжение. Сопротив-

ление R_T – термокомпенсационное, $R_Д$ – сопротивление датчика. HL – лампа контроля минимального топлива.

Электромагнитные указатели используются с датчиками на максимальное сопротивление 60 Ом, магнитоэлектрические – на 90 Ом или 350 Ом (в основном, на автомобилях ВАЗ).



а – для системы с напряжением 12 В; *б* – для системы с напряжением 24 В.

Рисунок 69 – Схемы магнитоэлектрических указателей

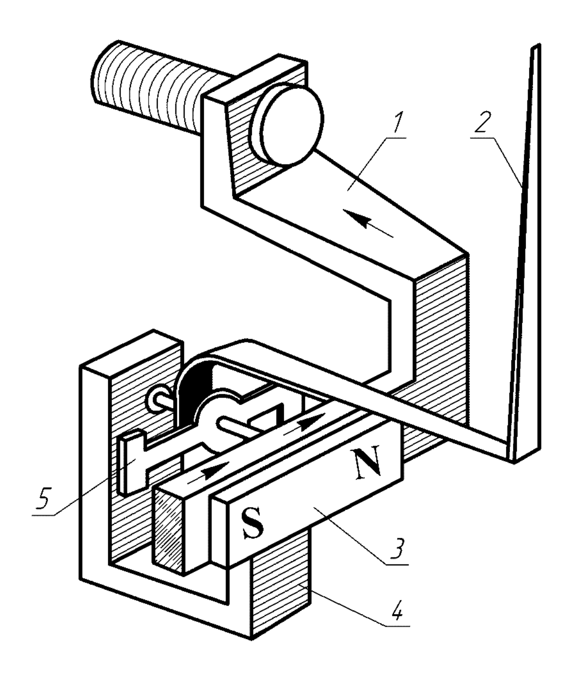
10.8. ИЗМЕРИТЕЛИ ЗАРЯДНОГО РЕЖИМА АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

Зарядный режим батареи определяется напряжением, которое создает на её выводах система электроснабжения, и силой тока, который батарея способна при этом принять. Поэтому в качестве измерителей зарядного режима аккумуляторной батареи используются амперметры, вольтметры и индикаторы заряда аккумуляторной батареи. Последние фактически контролируют работоспособность генераторной установки. Амперметры на современных моделях отечественных и зарубежных автомобилей не устанавливается, так как последовательное включение их в цепь батареи создает дополнительное падение напряжения в этой цепи, что неблагоприятно сказывается на зарядном режиме.

Конструкции амперметра и вольтметра аналогичны, это приборы магнитоэлектрической системы, в которых измеряемая

величина подводится к обмотке, магнитный поток которой воздействует на постоянный магнит. Конструкция может выполняться с подвижным магнитом, связанным со стрелкой или подвижной катушкой. Основное отличие амперметра от вольтметра состоит в том, что измерительная катушка амперметра подключена к шунту, установленному в приборе или вне его, по которому протекает измеряемый ток, измерительная же цепь вольтметра включается непосредственно в точку измерения напряжения.

Автомобильные амперметры относятся к электромеханическим приборам электромагнитной или магнитоэлектрической системы. Амперметры электромагнитной системы (рис. 70) состоят из основания **4**, постоянного магнита **3**, латунной шины **1**, якоря **5** стрелки **2**.



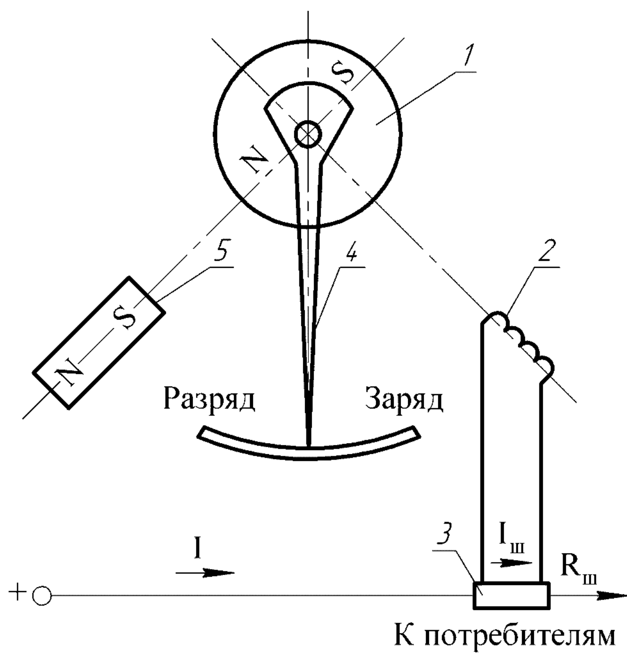
1 – шина; 2 – стрелка; 3 – постоянный магнит; 4 – основание; 5 – якорь.

Рисунок 70 – Принципиальная схема амперметра электромагнитной системы

При разомкнутой электрической цепи якорь со стрелкой под воздействием магнитного поля постоянного магнита удерживается в среднем положении на нулевом делении. При прохождении тока через латунную шину создается магнитное поле, под действием которого намагниченный якорь со стрелкой пово-

рачивается в ту или другую сторону в зависимости от направления тока, показывая заряд или разряд аккумуляторной батареи.

На автомобилях с задним расположением двигателя и с генераторными установками большой мощности для экономии проводов большого сечения применяют амперметры магнитоэлектрической системы с подвижным постоянным магнитом (рис. 71).



1 – постоянный магнит; 2 – катушка; 3 – шунт; 4 – стрелка;
5 – постоянный магнит.

Рисунок 71 – Принципиальная схема амперметра магнитоэлектрической системы

Подвижная система данного амперметра включает постоянный магнит **1** и стрелку **4**, закрепленные на оси. Постоянный магнит размещён внутри неподвижной катушки **2**, подключенной к шунту **3**, по которому протекает измеряемый ток. Противодействующий момент создается неподвижным постоянным магнитом **5** угол поворота постоянного магнита, а следовательно, и стрелки зависит от силы и направления тока, протекающего по шунту **3**.

На ряде автомобилей, например, ВАЗ-2105, -2107, -2108 для контроля за уровнем напряжения в бортовой сети применяется вольтметр. Он представляет собой магнитоэлектрический прибор с противодействующим магнитом.

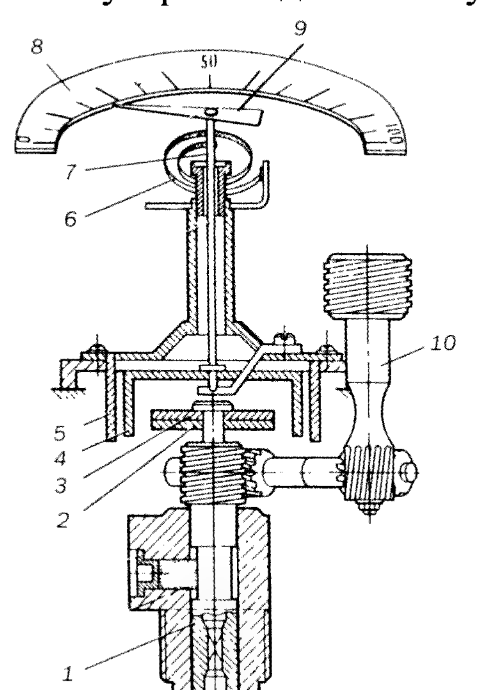
Шкала вольтметра в двенадцативольтовой схеме электрооборудования имеет пределы от 8 до 16 В и снабжена разноцветными секторами, красным (напряжение 8-11 В, батарея не заряжается), белым (11-12 В, батарея недозаряжается), зеленым (12-15 В, заряд батареи и работа генераторной установки нормальны), красным (15-16 В, перезаряд батареи, неисправна генераторная установка).

В двадцатичетырехвольтовой системе электрооборудования указанные выше цифры удваиваются. Вольтметр, как правило, встраивается в комбинацию приборов.

10.9. СПИДОМЕТРЫ И ТАХОМЕТРЫ

Спидометры дают водителю информацию о скорости движения машины и о пройденном пути. Соответственно, спидометр состоит из двух узлов – скоростного (собственно спидометра) и счетного узла, который иногда называют одометром, указывающего пробег автомобиля.

Скоростной узел спидометра, преобразующий частоту вращения его входного вала в перемещение стрелки, принципиально устроен одинаково у всех типов спидометров и представлен на рисунке 72.



1 – приводной вал;
2 – постоянный магнит;
3 – термомагнитный шунт;
4 – картушка;
5 – экран-магнитопровод;
6 – пружина;
7 – вал стрелки;
8 – шкала;
9 – стрелка;
10 – привод счетчика пройденного пути.

Рисунок 72 – Общее устройство спидометра

Однако картушка может только поворачиваться, так как её вращению препятствует упругая пружина, уравновешивающая действие магнитных сил. Угол поворота картушки и связанной с ней стрелки зависит от величины магнитного потока магнита, материала катушки, упругих свойств пружины и частоты вращения приводного вала спидометра, пропорциональной скорости движения автомобиля. Поскольку все эти параметры, кроме скорости машины, являются неизменными, стрелка прибора указывает значение скорости на шкале. Магнитный экран, охватывающий картушку снаружи, служит своеобразным магнитопроводом и усиливает магнитный поток в зоне расположения картушки. Температурная погрешность спидометра компенсируется с помощью магнитного термошунта, прижатого к магниту. С ростом температуры сопротивление катушки возрастает, но одновременно снижается магнитная проницаемость термошунта, часть магнитного потока, замыкающего через него, уменьшается и возрастает магнитный поток, пронизывающий картушку.

Привод спидометра осуществляется гибким валом, если длина приводного троса не превышает 3,55 м, или с помощью электрического синхронного привода.

Устройство спидометра с электроприводом отличается тем, что приводной вал спидометра вращается электродвигателем, получающим питание от датчика, выполненного в виде синхронного генератора, возбуждаемого постоянным магнитом. Соединение между датчиком и электромагнитом происходит через электронный усилитель.

Электронные спидометры 45.3802 автомобилей ВАЗ-2110 и 56.3802 автомобилей ГАЗ-3110 получают сигналы от датчика Холла, расположенного на коробке передач. Электронная схема преобразует сигналы в напряжение, пропорционально скорости движения машины. В соответствии с международными стандартами датчик вырабатывает шесть тысяч импульсов за один километр пути.

Спидометры с электрическим приводом работают в комплекте с датчиками МЭ307, 20.3843.

Электрические тахометры имеют скоростной узел, аналогичный узлу спидометра. Тахометры с электроприводом используют те же датчики, что и спидометры, и ту же схему управле-

ния. Однако в последнее время широко применяются электронные тахометры. Шкала тахометра имеет цветовые сектора: зеленый – допустимая частота, красный – опасный скоростной режим.

Датчиком для электронного тахометра является первичная цепь системы зажигания, откуда на тахометр поступают импульсы, частота следования которых пропорциональна частоте вращения двигателя. Принципиальная электрическая схема электронного тахометра приведена на рисунке 73.

На входе тахометра установлен формирователь импульсов на резисторах ***R1***, ***R2*** и конденсаторах ***C1-C4***, диоде ***VD1***, который преобразует входной колебательный импульс в сигнал положительной полуволны, запускающий одностабильный мультивибратор на транзисторах ***VT1***, ***VT2***, который формирует сигналы прямоугольной формы постоянной величины и длительности, следующие друг за другом с частотой входного сигнала, приходящего на магнитоэлектрический измерительный прибор ***PV***.

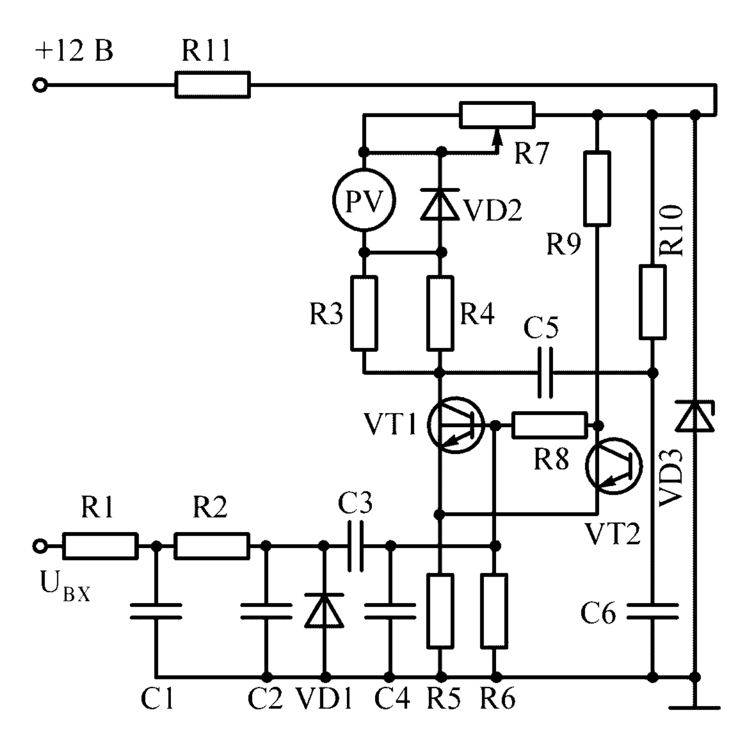


Рисунок 73 – Принципиальная электрическая схема электронного тахометра

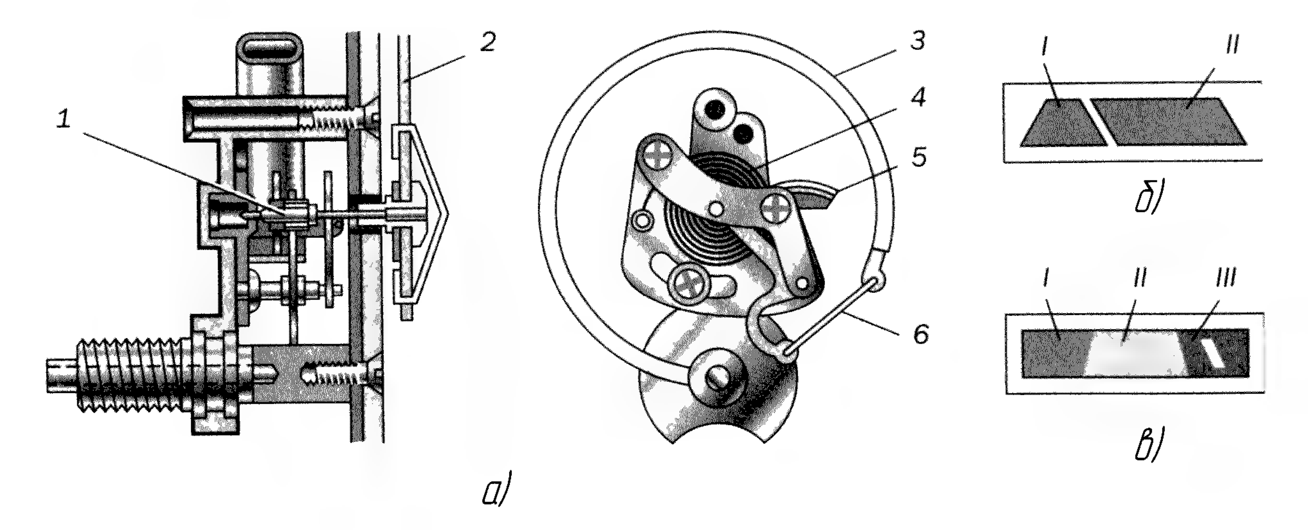
Чем выше частота следования импульсов, тем больше среднее значение тока, протекающего через прибор, что и фик-

сируется в виде его показаний по шкале, отградуированной в частоты вращения коленчатого вала двигателя. Терморезистор ***R3*** осуществляет термокомпенсацию в приборе, стабилитрон ***VD3*** защищает его от всплесков напряжения по цепи питания. Датчиком тахометра может служить и вывод фазы вентильного генератора.

10.10. ЭКОНОМЕТРЫ И ТАХОГРАФЫ

Эконометр позволяет рационально расходовать топливо, особенно при движении на ускоряющих передачах.

Фактически эконометр представляет собой вакуумметр, замеряющий давление во впускном коллекторе двигателя, для чего вход соединен с впускным трубопроводом за дроссельной заслонкой. Устройство эконометра непосредственного действия приведено на рисунке 74.



1 – трибка; 2 – стрелка; 3 – упругая трубка; 4 – пружина; 5 – зубчатый сектор; 6 – тяга; I, II,III – зоны шкалы.

Рисунок 74 – Общий вид эконометра: *а* – устройство; б и *в* – шкалы с двумя и тремя зонами.

Основной частью является трубчатая пружина, соединенная с входным штуцером. Изменение давления в ней заставляет её сжиматься или распрямляться, перемещение конца трубчатой пружины через зубчатый сектор и трибку передается на стрелку прибора. При максимальной частоте вращения и малой нагрузке

дроссельная заслонка прикрыта, давление за ней минимально, и эконометр показывает повышенный расход топлива в левой части шкалы. При малой скорости движения и большой нагрузке дроссельная заслонка открыта, давление во впускном коллекторе возрастает, и эконометр показывает, что для снижения расхода следует перейти на низшую передачу.

Тахограф устанавливается в соответствии с рекомендациями Европейской экономической комиссии на автомобилях, совершающих дальние междугородние и международные рейсы. Цель установки тахографа – контроль за режимом работы автомобиля и его водителя, объективное расследование обстоятельств в случае возникновения дорожно-транспортного происшествия.

Тахограф позволяет регистрировать на диаграмме скорость движения, пройденный путь, время стоянки, работу двигателя, текущее время, расход топлива. Часовой механизм поворачивает круглую диаграмму. В применяемых на отечественных автомобилях тахографах ТЭМС-1 перемещение диаграммы осуществляется шаговым двигателем этого механизма.

Перемещение пера самописца скорости осуществляется двигателем постоянного тока. Для записи расхода топлива используется шаговый двигатель.

Тахограф защищен от вскрытия и вскрытия электронного блока.

В последнее время на зарубежных машинах используются тахографы с записью показаний в памяти электронных устройств.

10.11. БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Бортовая система контроля – это информационная система, предназначенная для предупреждения водителя о возникновении неисправностей или нарушении рабочих функций узлов или агрегатов машины. С помощью БСК водитель, не покидая своего рабочего места, имеет возможность проверить готовность автомобиля к эксплуатации или определить весь комплекс работ, связанных с предвыездным техническим обслуживанием.

Основными параметрами, контролируемыми БСК, является уровень масла в смазочной системе, уровень охлаждающей жидкости, уровень жидкости в бачке стеклоомывателя, уровень тормозной жидкости, износ тормозных колодок, исправность ламп системы освещения и сигнализации. Данная номенклатура параметров может изменяться в зависимости от количества предъявляемых требований к надежности систем, безопасности дорожного движения и влияющих на надежность транспортного средства.

Как правило, современные БСК разрабатывают на основе микропроцессорной техники, что даёт возможность автоматизировать процесс контрольно-диагностических работ. Внедрение БСК может быть реализовано за счёт оснащения автомобиля встроенными в соответствующие системы датчиками с выводом информации водителю на панель приборов. При этом БСК способна решать следующие задачи:

- контролировать исправность основных систем и агрегатов машины с целью освобождения водителя от наблюдения за их техническим состоянием и концентрации его внимания на дорожном движении;
- при возникновении неисправностей оценивать их важность и в соответствующей форме предупреждать водителя;
- сообщать водителю о необходимости проведения технического обслуживания.

Смысл использования БСК состоит в том, что за счёт периодических проверок непосредственно на контролируемом объекте определяются отказывающие системы задолго до их профилактического контроля и технического обслуживания.

10.12. СИСТЕМА ВСТРОЕННЫХ ДАТЧИКОВ

Система встроенных датчиков (СВД) стала применяться на отечественных автомобилях ВАЗ-2108. В комплект СВД входят: 12-полюсный штекерный разъём; датчик положения коленчатого вала (датчик ВМТ); датчик высокого напряжения; датчик

опорного цилиндра; жгут проводов для коммутирования датчиков и контрольных точек.

Принципиальная схема СВД представлена на рисунке 75.

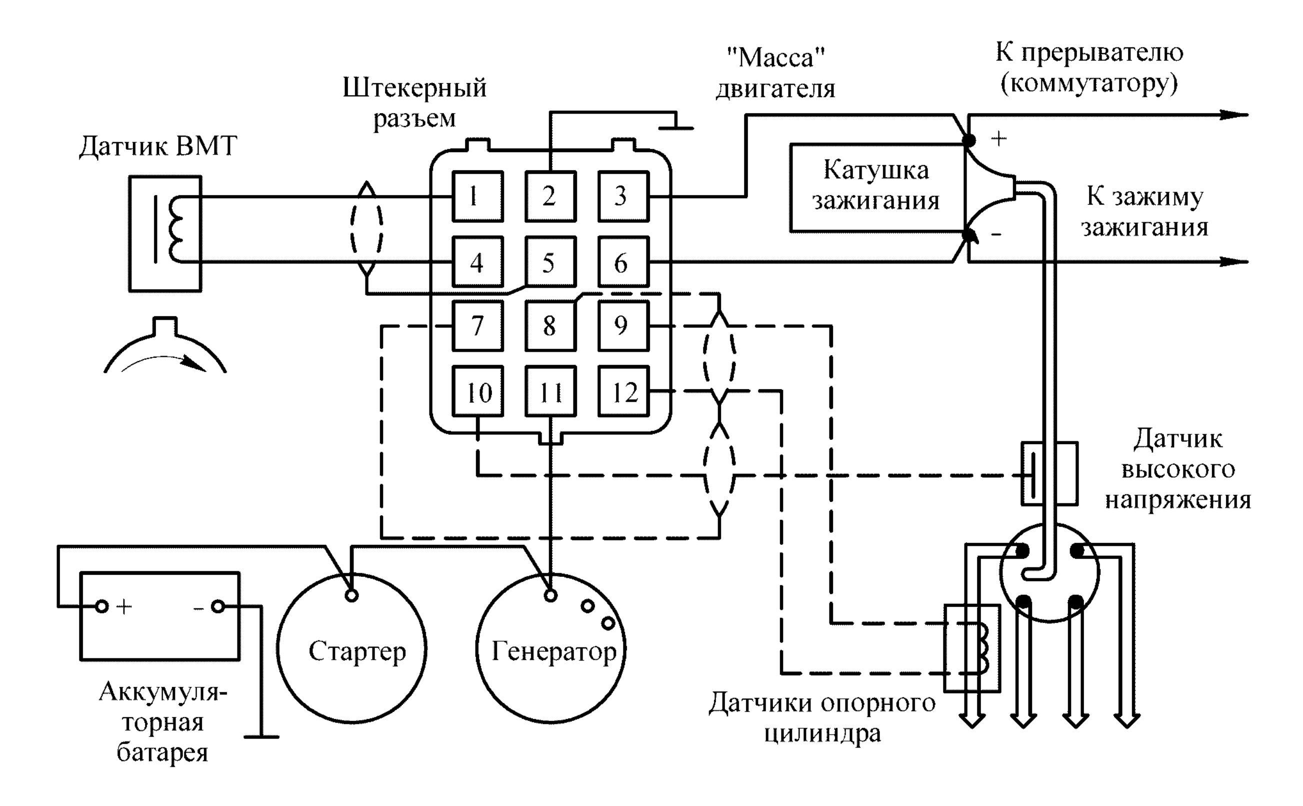


Рисунок 75 – Принципиальная схема СВД

Контрольными точками, выведенными на штекерный разъём, являются клемма «+» генератора, «+» и «-» катушки зажигания, «масса» двигателя, а также выводы датчиков ВМТ, высокого напряжения и опорного цилиндра.

Система встроенных датчиков позволяет определять:

- напряжение аккумуляторной батареи – без нагрузки, под нагрузкой (включен стартер) и при заторможенном стартере;
- регулируемое напряжение;
- исправность диодов выпрямителя генератора;
- напряжение на катушке зажигания – при включении замка зажигания и при включении стартера;
- падение напряжения на контактах прерывателя;
- угол замкнутого состояния контактов прерывателя – при контрольных значениях частоты вращения двигателя;

- асинхронизм искрообразования по цилиндрам;
- угол опережения зажигания при контрольных значениях частоты вращения двигателя;
- падение частоты вращения двигателя при отключении цилиндров.

10.13. МАРШРУТНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

В настоящее время прослеживаются два основных направления в разработке МК – разрабатываемые для конкретной модели автомобиля и универсального применения.

Несмотря на различия между МК, порой весьма существенные, все они выполняют в основном сходные функции. Данные функции связаны с измерением, расчётом, индикацией, а иногда и управлением совокупности четырёх параметров: скорости движения, расхода топлива, расстояния и времени. Иногда к ним добавляется возможность измерения температуры воздуха в салоне и за бортом автомобиля. Функции, выполняемые МК, подразделяются на основные и расширенные.

Система минимальной конфигурации включает часы, счётчики пройденного пути и времени, измерение средней скорости, измерение мгновенного и среднего расхода топлива. Расширенная система может проводить измерения времени, расстояния, времени за рулём, контроль скорости, индикацию расстояния до цели, оценку времени прибытия и расстояния, которое можно пройти на остатке топлива, сигнализацию при попытке угона и т.п. Расширенный вариант МК может также иметь устройства поддержания заданной скорости (спидостаты, темпостаты).

Однако разнообразие функционального назначения и конструктивного исполнения МК не вносит существенных изменений в их структурную схему.

Это связано с тем, что в подавляющем большинстве случаев в качестве основного элемента МК используется микропроцессор. Поэтому структура МК – это структура микроЭВМ, как, например, структурная схема одного из маршрутных компьюте-

ров, разработанных в нашей стране для использования на перспективных автомобилях семейства ВАЗ (рис. 76).

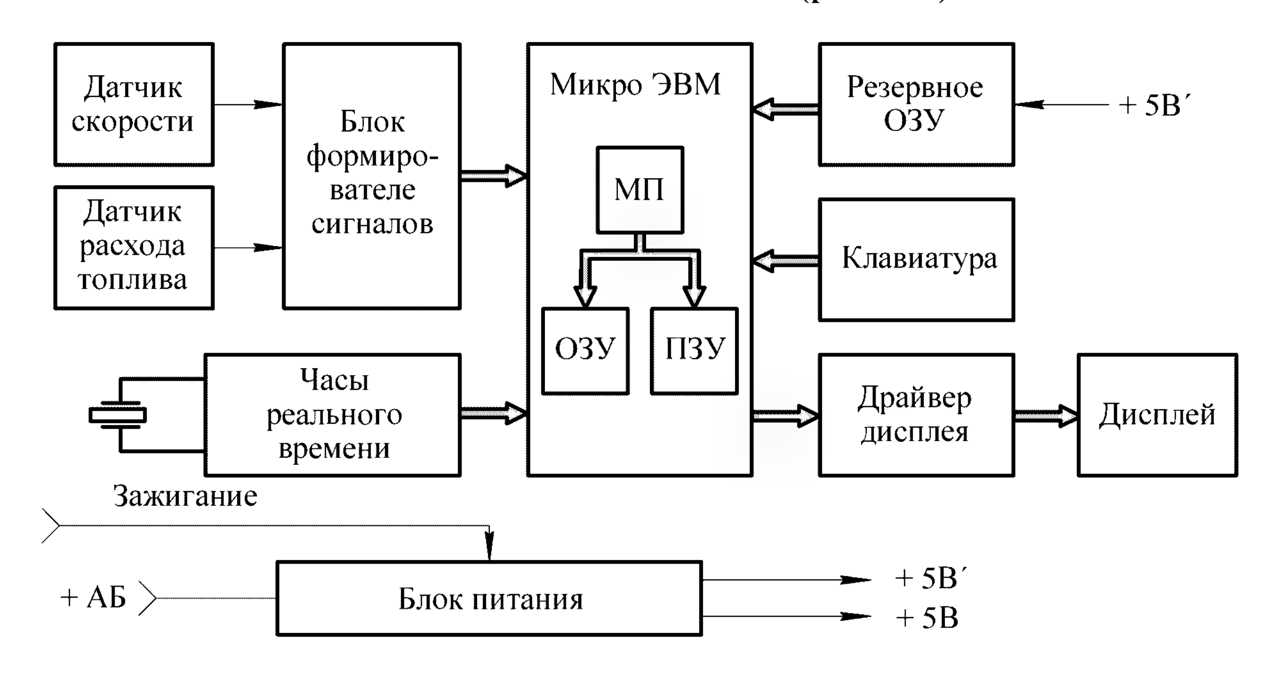


Рисунок 76 – Структурная схема МК перспективных моделей семейства ВАЗ

10.14. АВТОМОБИЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Автомобильная навигационная система (АНС) предназначена для выполнения функций навигации, штурманского сопровождения, а также мобильного поиска объекта, присутствующего в базе данных программы. Данные системы определения местоположения традиционно используют сигналы спутниковой системы глобального позиционирования GPS. Однако в последнее время предложен ряд решений, позволяющих исключить сигналы GPS и снизить стоимость системы. Эти решения основаны на методах триангуляции, выполняемых по сигналам, принимаемым базовыми станциями систем сотовой связи. Следует отметить, что точность определения местоположения с помощью системы GPS значительно выше, – 10-30 м, в то время как специальные технологии 100-150 м.

В России создано несколько навигационных систем, которые с успехом осваиваются автолюбителями. Географическая

информационная система "ПалмГИСGPS" позволяет отобразить местоположение автомобиля на карте Москвы и отслеживать передвижение по карте города. Она использует датчик системы GPS. Естественно, карта города отображается на экране ноутбука или карманного компьютера.

Другой вариант мобильной навигационной системы предлагает компания Benefon. Ее модель Esc! - GSM-телефон + навигационный GPS-приемник. На экране аппарата воспроизводится карта местности, предварительно введенная из интернета или компьютера. При включении GPS-приемника на карте появляется стрелка, индицирующая текущее местоположение.

В Российской Федерации вновь вводимые в эксплуатацию транспортные средства, включая самолеты, суда, наземный транспорт, геодезическое оборудование и космические аппараты, – должны в обязательном порядке оснащаться аппаратурой спутниковой навигации отечественной системы ГЛОНАСС или комбинированными приемниками ГЛОНАСС/GPS. Согласно постановлению правительства РФ приемниками ГЛОНАСС должны быть оборудованы находящиеся в эксплуатации транспортные средства.

Структурная схема автомобильной навигационной системы представлена на рисунке 777.



Рисунок 77 – Структурная схема автомобильной навигационной системы

К основным востребованным возможностям АНС относятся:

- отслеживание местонахождения автомобиля на фоне карты, которая может быть представлена в различных масштабах;
- голосовое сопровождение движения по маршруту с озвучиванием названия дороги, улиц и площадей по ходу движения машины;

- формирование оптимального маршрута по различным критериям (время в пути, расстояние, тип дороги);
- появление визуальной команды перед маневром автомобиля в виде картинки на экране;
- запись протокола движения автомобиля и его воспроизведение;
- поиск объектов в картографической базе данных по их адресу или названию на всей карте или на заданном расстоянии от текущего положения автомобиля.

В настоящее время наибольшую популярность получают АНС на базе карманных и планшетных компьютеров. На такой компьютер устанавливается программное обеспечение, подключается GPS-приёмник. В компьютер можно загружать карты и видеть на них положение приёмника, двигаться по проложенному маршруту с голосовыми подсказками и т.п. Преимущество карманного компьютера – его маленький размер и вес, а планшетный компьютер очень удобен благодаря большим размерам экрана, и при этом система имеет все возможности персонального компьютера.

Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняет автомобильная информационно-диагностическая система?

2. По каким признакам классифицируются контрольно-измерительные приборы?

3. Какие типы датчиков используются в контрольно-измерительных приборах?

4. Какие типы указателей применяются в автомобильных измерительных системах?

5. Какими преимуществами и недостатками характеризуются измерители температуры?

6. Какими преимуществами и недостатками характеризуются измерители давления?

7. Какими преимуществами и недостатками характеризуются уровнемеры?

8. Какими преимуществами и недостатками характеризуются амперметры и вольтметры?

9. Какие функции выполняют спидометры и тахометры?

10. Какие функции выполняют эконометры и тахографы?

11. С какой целью на автомобиле применяется бортовая система контроля?

12. Какие функции выполняет система встроенных датчиков?

13. С какой целью на автомобиле устанавливаются маршрутные компьютеры?

14. Как устроены автомобильные навигационные системы?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение данного учебного пособия хотелось бы рассмотреть основные перспективы развития автотракторного электрооборудования.

На данном этапе развитие автомобильного и тракторного электрооборудования идет по двум направлениям: по пути дальнейшего совершенствования существующих изделий электрооборудования и по пути конструирования и построения совершенно новых электрических, электронных и автотронных устройств. Усовершенствованию подлежит так называемое классическое электрооборудование, которое теперь относят к электрооборудованию первого поколения.

Вторым поколением принято считать электрические узлы, блоки и системы, в которых широко используется дискретная электронная схемотехника на полупроводниковых приборах. Сюда же включают электронные и релейные устройства управления вспомогательными бортовыми подсистемами, имеющими общее название "электропакет".

Третье поколение – это не только электрическое и электронное оборудование, но и все прочие средства бортовой автоматики, которые стали широко внедряться передовыми зарубежными фирмами с начала 90-х годов. В первую очередь, это электронные системы управления гидромеханикой впрыска топлива и электроискровым зажиганием, а также электронные системы управления гидравлическими тормозами, трансмиссией и узлами подвески автомобиля. К третьему поколению относят и современные электронные устройства бортового контроля и самодиагностики.

Важно заметить, что для оборудования третьего поколения прежний термин "электро" утратил свой определяющий смысл, так как теперь в системах бортовой автоматики, помимо традиционных механических и электрических, стали широко применяться самые разнообразные средства гидравлики, пневмоавтоматики, оптоэлектроники, локации, радиотехники, ультра- и инфразвука, компьютеризации. Так появился термин "автотроника", объединивший все, что относится к автомобильной бортовой автоматике, а современные комплексные системы автомобиля те-

перь чаще называют "автотронным оборудованием". Особенностью автотронного оборудования является то, что оно создается с применением самых разнообразных физических принципов и средств автоматического управления и регулирования, а управляется электронной цифровой автоматикой, в основе которой лежит бортовой компьютер с постоянной и оперативной памятью.

Появились первые признаки применения на автомобиле и тракторах суперсложной автоматики управления четвертого поколения. Уже опробованы идеи применения систем радарнокомпьютерной и спутниковой автонавигации и систем определения координат на местности для упрощения автоматизированного передвижения автомобиля по городским и шоссейным автодорогам, а также для поиска и нахождения нуждающегося в помощи автотранспорта. Для ряда крупнейших городов мира составлены "электронные карты", которые записаны на лазерных дисках. С помощью дисковода, компьютера и цветного дисплея маршрут движения выдается водителю автоматически. Переключается система от реперных меток на местности. В четвертое поколение бортового оборудования автомобиля, основным признаком которого будет полная компьютеризация процессов управления, регулирования и контроля, войдут также и такие специальные системы, как самоуправление автомобиля в режиме автопилота, самозащита автомобиля от аварийных ситуаций, электронное резервирование функций управления и многое, многое другое.

Усложнение электрооборудования автомобилей имеет и отрицательную сторону, связанную с увеличением числа отказов. В современном автомобиле уже более 40% отказов приходится на электрооборудование. Поэтому остро стоит проблема своевременной разработки методов и средств диагностирования новых систем и узлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Акимов, С.В. Автомобильные генераторные установки [Текст] / С.В. Акимов, А.В. Акимов. – М.: Транспорт, 1995. – 282 с.
2. Акимов, С.В. Электрооборудование автомобилей [Текст]: учеб. для ВУЗов / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. – М.: ЗАО КЖИ «За рулём», 2001. – 384 с.
3. Басс, Б.А. Свечи зажигания [Текст]: краткий справочник / Б.А. Басс. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулём», 2007. – 112 с.
4. Вишневецкий, Ю.Т. Электрооборудование автомобилей [Текст] / Ю.Т. Вишневецкий. – М.: Дашков и К, 2007. – 352 с.
5. Гаврилов, К.Л. Диагностика электрооборудования автомобилей [Текст] / К.Л. Гаврилов. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 96 с.
6. Конструкция автомобиля. Электрооборудование. Системы диагностики [Текст] / под ред. А.Л. Карунина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 480 с.
7. Курзуков, Н.И. Аккумуляторные батареи [Текст]: краткий справочник / Н.И. Курзуков, В.М. Ягнятинский. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулём», 2006. – 88 с.
8. Набоких, В.А. Автотракторное электрическое и электронное оборудование [Текст]: словарь-справочник / В.А. Набоких. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 352 с.
9. Набоких, В.А. Аппараты систем зажигания [Текст]: справочник / В.А. Набоких. – М.: Академия, 2009. – 320 с.
10. Набоких, В.А. Испытания электрооборудования автомобилей и тракторов [Текст] / В.А. Набоких. – М.: Академия, 2003. – 256 с.
11. Соснин, Д.А. Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей [Текст] / Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2010. – 384 с.
12 Тимофеев, Ю.Л. Электрооборудование автомобилей. Устранение и предупреждение неисправностей [Текст] / Ю.Л. Тимофеев, Г.Л. Тимофеев, Н.М. Ильин. – М.: Транспорт, 2001. – 320 с.
13. Туревский, И.С. Электрооборудование автомобилей [Текст] / И.С. Туревский, В.Б. Соков, Ю.Н. Калинин. – М.: Инфра-М, 2007. – 368 с.

14. Чижков, Ю.П. Электрооборудование автомобилей [Текст]: курс лекций. часть 1 / Ю.П. Чижков. – М.: Машиностроение, 2003. – 240 с.
15. Чижков, Ю.П. Электрооборудование автомобилей [Текст]: курс лекций. часть 2 / Ю.П. Чижков. – М.: Машиностроение, 2004. – 320 с.
16. Чижков, Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст] / Ю.П. Чижков. – М.: Машиностроение, 2007. – 656 с.
17. Чумаченко, Ю.Т. Электротехника и электрооборудование автомобилей [Текст] / Ю.Т. Чумаченко. – М.: Феникс, 2005. – 380 с.
18. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей [Текст] / В.Е. Ютт. – М.: Академия, 2000. – 320 с.
19. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей [Текст] / В.Е. Ютт. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 440 с.